



Examensarbeten

2019:3

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Bladyta och virkesproduktion i fullskiktad granskog skött med blädningsbruk

Elin Edman



Bladyta och virkesproduktion i fullskiktad granskog skött med blädningsbruk

Leaf Area and Volume Growth in Full-Storied Norway Spruce Forests managed with Single-tree Selection

Elin Edman

Handledare: Lars Lundqvist, SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Examinator: Gustaf Egnell, SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå A2E
Kurstitel: Självständigt arbete i skogsvetenskap vid institutionen för skogens ekologi och skötsel
Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Kurskod: EX0912
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2019
Omslagsbild: Elin Edman
Serietitel: Examensarbeten / SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Delnummer i serien: 2019:3
ISSN: 1654-1898
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Bladyteindex, gran, blädningsbruk, ljusinsläpp, virkesproduktion, hyggesfritt skogsbruk/ *Leaf Area Index, Norway Spruce, Single-tree Selection System, Light Penetration, Volume Growth, Continuous Cover Forestry*

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handletts och granskats av handledaren, och godkänts av examinator. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

FÖRORD

Detta examensarbete har genomförts under hösten 2018/våren 2019 i Ätnarovas försökspark, Gällivare och på SLU, Umeå för institutionen skogens ekologi och skötsel. Arbetet är på D-nivå och har en omfattning på 30 högskolepoäng.

Jag vill passa på att tacka min handledare Lars Lundqvist för bra handledning och stöd under genomförandet av denna studie. Även Hilda Edlund och Julia Virtala förtjänar ett tack för att de hjälpte mig med de statistiska analyserna.

Umeå, 25 mars 2019

Elin Edman

SAMMANFATTNING

I dagens samhälle har klimatförändringarna tagit en allt större plats i den politiska debatten, vilket har resulterat i att det numera är många olika värden som är viktiga att ta hänsyn till i skogsbruket förutom virkesproduktion. Samhället vill ha en större variation inom skogsskötseln och en ökad användning av hyggesfria skötselmetoder. I nuläget är detta möjligt efter att ändringar infördes i skogsvårdslagen år 2016. Hyggesfritt skogsbruk blir därför allt mer populärt samtidigt som renodlade kalhyggen minskar. Skogsstyrelsen ser gärna att hyggesfritt skogsbruk ersätter trakthyggesbruket på en del skogsmark. Eftersom det finns lite kunskap kring detta har forskningen ökat och måste fortsätta öka i framtiden. Enligt data från riksskogstaxeringen skulle stora delar av skogsmarken i den norra delen av landet vara möjlig att sköta med hyggesfritt skogsbruk. Det finns däremot både för- och nackdelar med skötselssystemet och därför pågår det en debatt om gynnsamheten. En form av hyggesfritt skogsbruk är blädningsbruk, vilket kan tillämpas på bestånd bestående av fullskiktad granskog. Forskare är oense om hur blädningsbruk påverkar skogens dynamik och produktion. Olika studier visar att blädningsbruk kan ge en lägre produktion än trakthyggesbruk.

Syftet med denna studie är därför att förklara varför produktionen är lägre i skog skött med blädningsbruk jämfört med trakthyggesbruk och om det finns en tydlig koppling mellan volym och tillväxt genom att studera andelen bladyta i fullskiktade bestånd skötta med blädning jämfört med bestånd med en mer enskittad struktur. En påverkande faktor till skogens produktion kan vara trädstrukturen. Bestånd med en stor andel bladyta ger ett högre ljusupptag och därmed en ökad fotosyntes, vilket i sin tur borde skapa en högre tillväxt. För att testa hypoteserna gjordes därför mätningar genom en indirekt metod av Leaf area index (LAI), vilket är en mätning av bladytan. Studien genomfördes i ett långsiktigt fältförsök beläget i Ätnarovas försökspark, Norrbotten. Bestånden i försöket var ursprungligen ett och samma fullskiktade granbestånd vilket behandlats med gallringsformerna topphuggning (blädning) eller bottenhuggning (skärm) och olika gallringsstyrka.

Resultatet av studien visade att bladytan var korrelerad med beståndsfaktorerna volym, grundyta och stamantal. Virkesförrådet och trädstrukturen hade därför en påverkan på bladytan. Dessutom hade gallringsform och gallringsstyrka en påverkan på bladytan, vilket innebär att blädning ger en annan andel bladyta än trakthyggesbruk. Blädning resulterar i en högre andel bladyta och ett högre virkesförråd i studien och borde därför påverka tillväxten positivt, vilket inte överensstämmer med tidigare studier där blädningsbruk ger en minskad produktion. Volym och tillväxt hade också en tydlig koppling med varandra vilket överensstämde med andra studier gällande virkesförråd och tillväxt, där ett högre virkesförråd gav en ökad tillväxt. Om tillväxten ska vara fortsatt hög i framtiden genom att bedriva blädningsbruk får därför inte virkesförrådet minska.

Bladyta och löpande tillväxt var dock inte korrelerat i detta fall vilket innebär att bladyta inte direkt hade en betydelse för tillväxten trots tidigare antagande. Man kan dock diskutera ifall bladytan ändå indirekt kan påverka tillväxten eftersom att en ökad stående volym bidrog till en ökad tillväxt i försöket. Detta är dock inte statistiskt fastställt och därför bara en teori. Eftersom att bladyta och tillväxt inte är statistiskt korrelerat kan man inte fastställa att teorin stämmer, men man kan definitivt säga att virkesförrådet har betydelse för båda faktorerna och måste tas i beaktning vid bedrivande av blädningsbruk.

Nyckelord: Bladyteindex, Gran, blädningsbruk, ljusinsläpp, virkesproduktion, Hyggesfritt skogsbruk

SUMMARY

In today's society, climate change has taken an increasing place in the political debate, which has resulted in that it's nowadays important to take many different values into account besides timber production. The society wants a greater variation in forest management and increased use of continuous cover management systems. It is possible at the moment due to changes in the Swedish Forestry Act 2016. Continuous Cover Forestry is therefore increasing in popularity while clear cutting forestry is decreasing. The Swedish Forest Agency wants to replace clear cutting forestry on parts of the forest land in the country. Since it's not much knowledge about this management system the research about it has increased the last years and must continue to increase in the future. According to the National Forest Tax Assessment, large parts of the forest in the northern part of the country would be able to manage with Continuous Cover Forestry. There are, however, both advantages and disadvantages with the management system and therefore there is an ongoing debate about the benefits of the management system. Single-tree Selection System is a Continuous Cover management system which can be applied in full-layered spruce stands. Researchers disagree on how this management system affects the forest dynamics and production. Various studies show that Single-tree Selection System can result in lower production than clear cutting forestry.

The purpose of this study is therefore to explain why production is lower in forest managed by Single-tree Selection System instead of clear cutting forestry and if there is a connection between volume and growth, by studying the proportion of the leaf area in full-layered stands managed with Single-tree Selection System compared with one-layered stands. Tree structure is an influencing factor for the forest production. Forest stands with a large leaf area have a higher light absorption and therefore an increased photosynthesis, which in return should create a higher growth. To test the hypotheses, measurements were therefore made through an indirect method of the Leaf Area Index (LAI), which is a measurement of the amount of leaves above the ground surface. The study was conducted in a long-term field trial located in Ätnaröva's experimental park, Norrbotten. The stands in the experimental park consisted of full-layered spruce forests and had been treated with different thinning forms; top cutting or bottom cutting, and various thinning strengths.

The result of the study showed that the leaf area correlated with stand factors such as volume, basal area and number of stems. Therefore, the standing volume and the tree structure had an impact on the leaf area. In addition, thinning form and thinning strength had an influence on the leaf area as well. Single-tree Selection System statistically provides a different proportion of leaf area than clear cutting forestry. Single-tree Selection System resulted in a higher leaf area and a higher standing volume 26 years after the thinnings suggesting a positive effect on growth, which does not correspond to previous studies where Single-tree Selection System gives a reduced production. Volume and growth was also positively correlated, in line with other studies, where a higher standing volume increased growth. If growth is to continue to be high in the future while practicing a Single-tree Selection System it is important to keep the growing stock at a level following each harvest. Leaf area and growth were not correlated in this study, which meant that leaf area did not directly affect the growth despite earlier assumptions. However, one can discuss whether the leaf area can indirectly affect the growth, since an increased standing volume contributed to increased growth in the experiment. However, this is not statistically determined and therefore only a theory. Since leaf area and growth are not statistically correlated, it can not be determined that the theory is correct, but it can definitely be said that the standing volume is important for both factors and must be taken into account in the operation of Single-tree Selection System.

Keywords: Leaf Area Index, Norway Spruce, Single-tree Selection System, Light Penetration, Volume Growth, Continuous Cover Forestry

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | |
|---------------------------------------------------|----|
| Sammanfattning | 4 |
| Summary | 5 |
| Inledning | 7 |
| Bakgrund..... | 7 |
| Historik..... | 8 |
| Hyggesfritt skogsbruk..... | 8 |
| Blådningsbruk..... | 8 |
| Tidigare forskning om produktion och bladyta..... | 9 |
| Leaf Area Index (Bladyteindex)..... | 9 |
| Indirekta och direkta mätmetoder..... | 9 |
| Syfte | 10 |
| Hypotes | 10 |
| Material och metod | 11 |
| Studielokal och försöksuppställning..... | 11 |
| Datainsamling och genomförande..... | 14 |
| Beräkningar..... | 15 |
| Resultat | 17 |
| Leaf Area Index..... | 17 |
| Volym och tillväxt..... | 19 |
| LAI och tillväxt..... | 20 |
| Gallringsform och volym..... | 20 |
| Diskussion | 22 |
| Leaf Area Index..... | 22 |
| Volym och tillväxt..... | 24 |
| Osäkerheter i studien..... | 24 |
| Slutsats..... | 25 |
| Referenser | 26 |
| Bilagor | 32 |

INLEDNING

Bakgrund

Produktionen i skogen har fått en allt större roll i dagens samhälle samtidigt som andra värden än ekonomiska också har blivit aktuella, till exempel naturvärden. Skog är viktigt för många ekosystemtjänster som biodiversitet, rekreation och så vidare. Dessutom finns också numera policys vilka fokuserar på annat än bara produktiviteten i skogen. Till exempel är cirka 50-60 % av all produktiv skogsmark i landet FSC certifierad (FSC, 2013) eller PEFC certifierad (PEFC, 2019). Att binda koldioxid, säkerställa råvara till skogsindustrin, bidra med bioenergi och positiv påverkan på klimatet har blivit viktiga områden för skogsbruket (Brännlund et al., 2012).

Samhället ser en större variation inom skogsskötseln och en ökning av hyggesfria skogsbruksmetoder (Hannerz, 2017). Riksdagen har tagit fram miljömål för att främja ett varierat skogsbruk, bevara biologisk mångfald, skydda skogsmarkens värde och produktion samt minska utsläpp av växthusgaser (Andersson et al., 2019; Naturvårdsverket, 2017). Dessutom har ändringar gjorts i skogsvårdslagen år 2016 vilket gör det möjligt att använda andra skötselsystem än trakthyggesbruk eftersom att en avverkning inte måste vara ändamålsenlig för återväxten av skog.

År 2016 skapades "Parisavtalet", vilket är ett bindande internationellt klimatavtal som innebär att utsläpp av växthusgaser ska minska (Regeringen, 2016). För att bidra till klimatavtalet och miljömålen skulle en förändring inom skogsbruket behöva ske och alternativa skogsskötselmetoder kan vara en del i detta. Ett hyggesfritt skogsbruk har sedan en tid tillbaka blivit något att eftersträva och trakthyggesbruket får allt fler varianter samtidigt som renodlade kalhyggen blir allt mindre vanligt. Därför bedrivs det numera mycket forskning om hyggesfritt skogsbruk (Cedergren, 2008; SLU, 2014). Hyggesfritt skogsbruk kan inte helt ersätta trakthyggesbruket men det kan vara ett komplement på en del av skogsmarken i Sverige (Cedergren, 2008). Det skulle kunna vara ett alternativ för att minska andelen koldioxid i atmosfären genom att binda en högre andel kol i skogen. Enligt Skogsstyrelsen (2017) kan hyggesfritt skogsbruk öka i framtiden. Eftersom kunskapen om hyggesfritt skogsbruk som skötselmetod är begränsade finns behov av ökad forskning (Skogsstyrelsen, 2001; Skogsstyrelsen, 2010¹, Skr.2003/04:39). Även regeringen, Naturskyddsföreningen, Fastighetsverket och Forifikationsverket vill ersätta delar av trakthyggesbruket med hyggesfritt skogsbruk. Detta för att få ett mer varierat skogsbruk och för att visa hänsyn till miljö-, natur-, kultur-, sociala- och rekreationsvärden samt med hänsyn till rennäringen (Skogsstyrelsen, 2010; SLU, 2018).

Enligt Riksskogstaxeringen finns det mycket skog i norra Sverige som skulle kunna skötas med hyggesfritt skogsbruk (Riksskogstaxeringen, 2017). Genom att förstå hur skogens dynamik fungerar skulle man kunna sköta skogen på ett mer hållbart sätt utan att minska tillväxten.

Genom trakthyggesbruk kalavverkas marken och innehåller därför en kalhyggesfas, vilken bidrar till höga koldioxidutsläpp till atmosfären. Om skogen sköts med hyggesfritt skogsbruk bildas det aldrig någon hyggesfas, vilket innebär att kolförrådet i skogen alltid kommer att vara relativt konstant (Lundmark, 2017). Höga utsläpp av koldioxid leda till en ökad växthuseffekt, om stora andelar av skogsmarken består av kalmark samtidigt. Trakthyggesbruket har gjort att skogsbruket har blivit intensifierat, vilket har resulterat i att den biologiska mångfalden har minskat. Det har bidragit till att en mängd arter har blivit hotade genom dagens skogsbruk eftersom skötselformen är negativ för många arter, till exempel vissa fågelarter, svampar, mossor, lavar, insekter, kärlväxter och mollusker (Arpi, 1959; Cedergren, 2008; Enander, 2001; Skogsstyrelsen, 2010¹). Enligt Dahlberg (2011) finns det färre arter i skogar skötta med trakthyggesbruk än skogar skötta med hyggesfritt skogsbruk. Många arter som är kopplade till specifika naturvärden, bland annat uttorkningskänliga mossor och fågelarter

som kräver flerskiktad skog (Cedergren, 2008). Upp till 10 % av alla skogslevande arter i Sverige är rödlistade och många utav dessa är kopplade till äldre naturskog (Cedergren, 2008; Gärdenfors, 2005). Hyggesfritt skogsbruk kan även minska snytbaggeangrepp och det gynnar svårspredda arter som kräver lång trädkontinuitet. Dessutom minskar risken för att jorden eroderar och att näringsämnen samt metaller lakas ut i naturen (Cedergren, 2008; Skogsstyrelsen, 2010¹; Skogsstyrelsen, 2017; SLU, 2015).

Historik

Redan på medeltiden användes hyggesfritt skogsbruk som en skötselåtgärd runt om i världen. På 1200-talet tillämpades hyggesfritt skogsbruk genom en form av plockhuggning i Frankrikes skogar, vilket resulterade i att dessa blev sönderhuggna (Lundqvist, 2005). För att minska problemet infördes därför trakthyggesbruk och i mitten av 1800-talet blev plockhuggning förbjudet i stora delar av Europa, vilket resulterade i att trakthyggesbruket blev den dominanta skötselformen (Hawkins, 1962). Mot slutet av 1800-talet började man tvivla på trakthyggesbruket och forskning om plockhuggning påbörjades (Kraft, 1892; Liocourt, 1898). Detta ledde till att blädningsbruk uppstod (Cedergren, 2008). I början av 1900-talet var hyggesfritt skogsbruk det vanligaste skogsskötselsystemet i norra Sverige (Lundmark et al., 2013). Men återväxten av skog var inte acceptabel eftersom många skogar lämnades sönderhuggna (Bäckström, 2006). Tillväxten hade blivit låg och virkesförråden små i skogar som i början på 1900-talet brukats med dimensionsavverkning. Under 1950-talet dominerades skogsbruket därför av trakthyggesbruk. Dessutom infördes en lag på 1950-talet angående hur gallring fick bedrivas och blädning förbjöds på marker som staten ägde. Lagen försvann inte förrän år 1993 när den nuvarande skogsvårdslagen trädde i kraft (Lundqvist et al., 2014).

Hyggesfritt skogsbruk

Hyggesfritt skogsbruk innebär att skogen sköts med ett skötselsystem som aldrig kalavverkar marken samtidigt som virkesförrådet aldrig understiger paragraf 5 - kurvan i virkesförrådsdiagrammet i skogsvårdslagen (Bengtsson, 2010; Skogsstyrelsen, 2010¹). Hyggesfritt skogsbruk kan bedrivas i olika former till exempel; blädningsbruk, skärm, plockhuggning, luckhuggning och måldiameterhuggning (Bengtsson, 2010; Skogsstyrelsen, 2010¹; Skogsstyrelsen, 2017). Internationellt kallas hyggesfritt skogsbruk ”continuous-cover forestry”(ccf) (Mason et al., 1999).

De vanligaste bestånden som är i behov av hyggesfritt skogsbruk är ”PF-bestånd”, vilket är bestånd som inte bara har produktionsmål utan även en ökad miljöhänsyn utöver den generella hänsynen. Det måste dock tilläggas att skogen aldrig bör ha avverkats tidigare och bör bestå av skuggtåliga trädslag, eventuellt skogar i närheten av bestånd med höga naturvärden eller skogar vilka gynnas avsevärt av hyggesfria skötselmetoder av andra skäl. Lämplig skog för att bedriva hyggesfritt skogsbruk är bokskog, granskog, sumpskog, lövskogslundar, sandtallskog, tätortsnära skog, skog med vissa typer av naturvärden eller sociala värden, skog på frostlänta eller blöta marker och gränsskogar till nyckelbiotoper eller vatten (Skogsstyrelsen, 2017; Skogsstyrelsen, 2010¹).

Eftersom att det både finns för- och nackdelar med ett hyggesfritt skogsbruk förekommer det än idag en debatt om detta är ett skötselsystem som är gynnsamt eller inte (Espmark, 2017).

Blädningsbruk

För att förstå varför fullskiktade skogar som sköts med blädningsbruk istället för trakthyggesbruk producerar sämre måste man först förstå hur dessa fungerar.

Blådningsbruk är den vanligaste formen av hyggesfritt skogsbruk (Bengtsson, 2010; Skogsstyrelsen 2010¹) och är ett skötselsystem vilket tillämpas fullskiktade skogar. Blådnings, kan ses som en form av upprepade gallringar (Lundqvist et al., 2014).

Enligt Cedergrén (2008) är områden lämpliga för att bedriva blådningsbruk flerskiktade bestånd på en mark med hög bördighet och ett högt virkesförråd. Är virkesförrådet lågt blir det svårt att upprätthålla en hög tillväxt. För att blådningsbruk ska fungera krävs det att man använder sig av skuggtåliga trädslag till exempel gran eller bok (Skogsstyrelsen, 2017; Skogsstyrelsen, 2010¹).

Forskning visar att blådningsbruk kan ge en lägre produktion än trakthyggesbruk (Andreassen 1994; Lundqvist, 2017; Skogsstyrelsen 2010¹), vilket är ett problem om blådningsbruk ska bedrivas istället för trakthyggesbruk. Men i bästa fall enligt Lundqvist (2005) kan välskötta blådningsbestånd ha en likvärdig produktion än bestånd skötta med trakthyggesbruk. Forskning visar även att blådningsbruk ökar andelen lagrat kol. Men för att det ska bli en hög klimatnytta, genom att öka andelen lagrat kol i skogen, måste tillväxten vara hög (SLU, 2015).

Tidigare forskning om produktion och bladyta

En faktor som kan påverka skogens produktion är trädåldern. Day (2011) hävdar att bladytan minskar med åldern, däremot har trädens diameter samt längd ett positivt förhållande till åldern. Gspaltl (2013) visar att i en heterogen skog, där mindre träd hamnar i konkurrens med större träd, blir träden mindre effektiva och därmed har lägre produktion och en minskad bladyta. En minskad bladyta kan inträffa eftersom att tätheten i en heterogen skog varierar och träden växer i kluster (Hanewinkel, 2004), där vissa delar av skogen är mer öppen än andra delar och borde därför i praktiken ha en större bladyta eftersom att det är ett högre ljusinsläpp på dessa platser.

Enligt Greis (1981) varierar formen på trädkronor i fullskiktade granskogar beroende på rådande ljusförhållanden. Grenar växer fortare under kraftig skuggning och skapar en vidare trädkrona än under öppna ljusförhållanden då kronan blir mer konformad. Ljusförhållandet påverkar även grundytetillväxten där en kraftig skuggning leder till sämre tillväxt och därmed lägre grundyta.

Leaf Area Index (Bladyteindex)

Leaf area index(LAI) eller "bladyteindex" är ett mått på mängden blad över en markyta, ett LAI värde på 1.0 innebär att bladytan är lika stor som markytan. Definitionen är "*Den beräknade bladytan över en markenhet(m² m⁻²)*" (Waring, 2007) eller "*m² ensidig lövyta/m² markyta*" (LI-COR, 2016), vilket innebär att 10 000 m² bladyta per hektar motsvarar ett LAI värde på 1.0 (Waring, 2007). För växtligheten är LAI en viktig egenskap och används för att karterisera ljusförhållanden i trädkronor hos vegetationen. Däremot överlappar blad varandra och därför fångas inte allt ljus upp av bladen, men ett ökat LAI innebär ett ökat ljusupptag (Chason, 1991; Fang, 2014; Kozai, 2016).

Bladyta är avgörande för tillväxten hos växter eftersom viktiga ekosystem processer som fotosyntesen är relaterad till LAI (Baldocchi, 2000; Cattaneo, 2017; Chason, 1991; Fang, 2014; Gower, 1999; Loomis, 1992; McWilliam, 1993). Ljus driver fotosyntesen som sker i bladens kloroplaster i spektrumet 400-700nm, och andelen ljus som fångas upp beror på den totala bladytan (Kozai, 2016).

Indirekta och direkta mätmetoder

Det finns indirekta och direkta metoder för att mäta LAI (Rhoads, 2004). En direkt metod att mäta LAI är genom uppsamling av löv/barr på en yta (Gower, 1999; Olivas, 2013). Nackdelar med denna

metod är att den är arbetskrävande, tar lång tid att genomföra och ytan som ska mätas kan vara svår att definiera (Cutini, 1998; Gower, 1991).

Indirekta metoder är vanligare eftersom dessa är snabba och inte skadar träden som ska mätas (Anderson, 1971; Chason, 1991; Norman & Campbell 1989). En indirekt metod att mäta LAI är genom optiska mätmetoder. Detta kan göras genom ett optiskt instrument (Se Bilaga 1).

SYFTE

Detta arbete har två syften. Dels att hitta en möjlig förklaring till varför virkesproduktionen är lägre i skogar skötta med blädningsbruk än i skogar skötta med trakthyggesbruk. Och dels förklara om och varför det finns en tydlig koppling mellan volym och tillväxt.

Detta har undersökts utifrån följande frågeställning:

- Beror produktionsskillnader i skogar skötta med blädningsbruk på skillnader i bladyta(LAI)?

HYPOTES

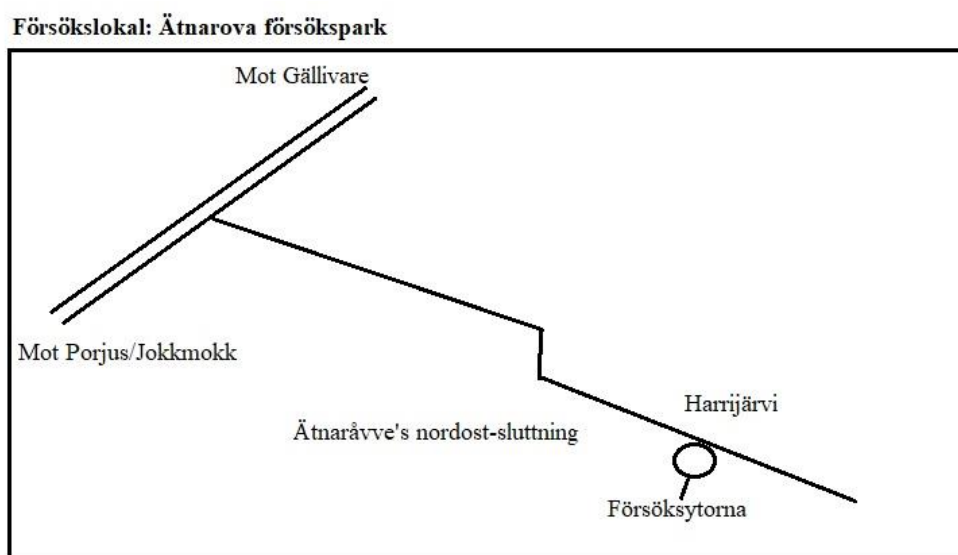
Två hypoteser testades:

- (1) Bladytan (LAI) är proportionell mot skogens lokala täthet på beståndsnivå. Vilket innebär att bladytan är lika med den maximalt möjliga arean i täta bestånd och lägre i glesa bestånd.
- (2) Volymtillväxten är proportionell mot bladytan (LAI).

MATERIAL & METOD

Studielokal och försöksuppställning

Hypoteserna testades i ett långsiktigt fältförsök om beståndsförnygring i granskog anlagt år 1990 i Gällivare på en mager mark med lätt sluttande terräng i Ätnarova försökspark, Norrbotten (67°1N, 425 m ö.h.) (Figur 1). Beståndet i försöket dominerades av gran (*Picea abies* (L.) Karst.) men det förekom även glasbjörk (*Betula Pubescens* Ehrh.) och enstaka sälgar (*Sorbus acuparia* L.) (Lundqvist et al., 2006). Fältskiktet bestod av blåbär (*Vaccinium myrtillus* L.) och eller lågorter (Lundqvist, 1994). Markfuktigheten på platsen var frisk till fuktig (Lundqvist, 1996) och jordarten är morän (SGU, 2018). Genomsnittlig längd på vegetationsperioden är 120-130 dagar (SMHI, 2017¹) med en temperatursumma på cirka 600 och nederbörd i genomsnitt på 600 mm/år (Perttu & Morén, 1995; SMHI, 2017²). Boniteten är 2,8m³sk/ha och år (Lundqvist et al., 2006) vilket ger ett ståndortsindex på ungefär G17.

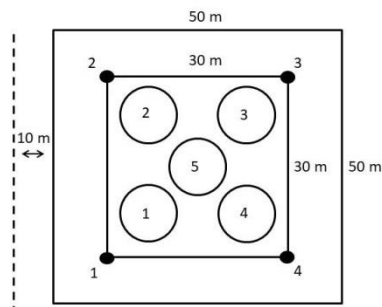


Figur 1. Lokalisering av Ätnarova försökspark och försöksytor. Baserad på bilaga 1 Lundqvist 1994.

Figure 1. Localization of Ätnarova experimental park and experimental areas. Based on Appendix 1 Lundqvist 1994.

Vid anläggningen av försöket var inga avverkningar gjorda de senaste 60 åren. Utgångsbestånden var fullskiktade och hade ett virkesförråd mellan 110-190 m³sk/ha (Lundqvist, 1994). Efter behandling hade bestånden ett virkesförråd mellan 20-140 m³sk/ha (Nilson & Lundqvist, 2001).

Försöket har en två-faktors design med två block; risblocket och örtblocket, uppdelat på totalt 14 parceller (blädningsytor), där varje block består av 7 ytor varav en av dessa är referensyta (Figur 3). Varje yta består av en total brutto-yta på 50x50 meter (0,25 hektar) samt en inre netto-yta (netto-yta) på 30x30 meter (0,09 hektar). De 4 yttre hörnen på brutto-ytan är markerade med träpålar (nr 1-4, Figur 5). I netto ytan finns 5 stycken cirkelprovytor markerade med metallkäppar (nr 1-5, Figur 2) där alla träd med en höjd lägre än 2 meter och alla plantor mellan 10-49,9 cm inom en yta på 28,3 m² är uppmätta och koordinatsatta i förhållande till centrumkämpen i ytan. Avståndet mellan brutto-yta är 10 meter.

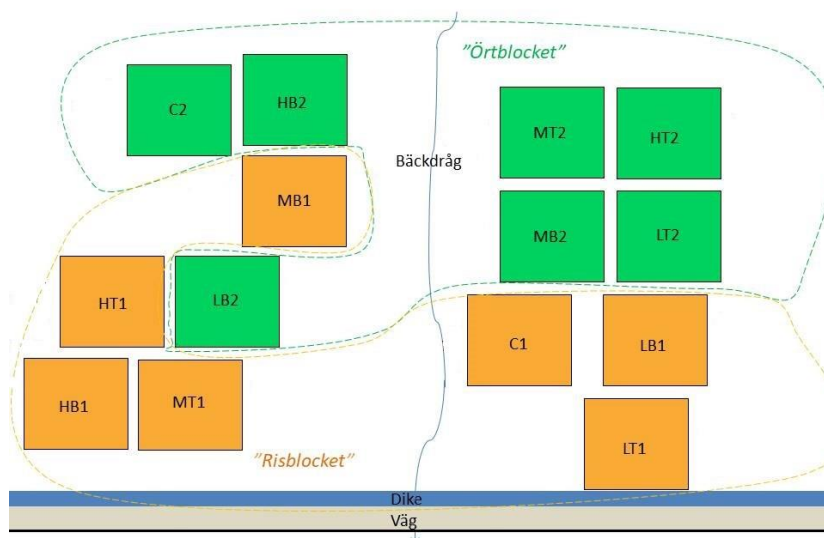


Figur 2. Överblick av en stakad brutto-yta, med markerade hörn(1-4) av den inre netto-ytan samt provpunkter(1-5). Baserad på detaljskiss av Åman 1990.

Figure 2. Overview of a stacked gross-surface with marked corners (1-4) of the inner net-surface and test points (1-5). Based on a detailed sketch of Åman 1990

De två faktorerna i försöket var virkesförråd och beståndsform. Ytorna hade fått olika beståndsformer och virkesförråd tilldelades genom en lottning i ett trestegsförfarande. Först lottades vilka två ytor som skulle vara referensytor inom vardera block. Sedan tilldelades resten av ytorna försöksled genom lottning, ytor med liknande virkesförråd och stamantal inom blocken parades ihop ("par-blockning"). Efter detta tilldelades ytorna virkesförråd och beståndsform genom lottning (Lundqvist, 1994).

Beståndsformerna ytor tilldelades var enskiktad struktur eller fullskiktad struktur. Virkesförrådet litet (L), mellan (M) eller stort (S) tilldelades ytor genom lottning och skapades genom att gallra med gallringsstyrka låg (cirka 30 %), mellan (60 %) eller hög (85 %). Ytorna hade även behandlats med en topphuggning (blädning) för att bevara en fullskiktad struktur i skogen, bottenhuggning (skärmställning) för att skapa en högskärm och göra skogen enskiktad eller lämnats orörda som referensyta. Vilka ytor som har tilldelats bottenhuggning eller topphuggning avgjordes också med lottning. Mellan varje brutto-yta gjordes även en utomstående yta på 10 meter där det utfördes en röjning. Dessa utomstående ytor blev endast svagt påverkade av gallringen som gjordes i ytorna (Figur 2).



Figur 3. Översikt av block och ytor i Ätnarovas försökspark. 1 = Block nr 1 "Risblocket", 2 = Block nr 2 "Örtblocket". L= lågt kvarvarande virkesförråd(hög gallringsstyrka), M= medium kvarvarande virkesförråd(mellan gallringsstyrka), S=Stort kvarvarande virkesförråd(låg gallringsstyrka). T= topphuggning(höggallring), B=bottenhuggning(låggallring). Baserad på skisser från Lundqvist & Åman 1990.

Figure 3. Overview of blocks and surfaces in Ätnarova's experimental park. 1 = Block No. 1 "The Rice Block", 2 = Block No. 2 "The Herb Block". L = low residual wood stock (high thinning strength), M = medium remaining wood stock (between thinning strength), S = Large remaining wood stock (low thinning strength). T = top cutting (high thinning), B = bottom cutting (low thinning). Based on sketches from Lundqvist & Åman 1990.

Mätning av träd och gallring i ytorna skedde år 1990/91. Alla uppmätta träd är tilldelade nummer. Efter detta har en återinventering av träd genomförts år 1990 (Lundqvist, 1994), 2000, 2005, 2010 samt 2016 (Tabell 1).

Tabell 1. Ytors tillstånd efter behandlingar år 1990(Lundqvist et al. 2007).

Table 1. Surface conditions after treatments in 1990 (Lundqvist et al. 2007).

| Block | Yta | Gallringsstyrka ^a | Kvarvarande virkesförråd | Gallringsform ^b | Mark typ ^c | Densitet stammar /ha | Grundyta m ² /ha | Virkesförråd m ³ sk/ha |
|-------|-----|------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1 | LT | Hög | Låg | Topp | Ris | 288 | 3.8 | 30 |
| 1 | MT | Mellan | Mellan | Topp | Ris | 528 | 7.4 | 43 |
| 1 | HT | Låg | Hög | Topp | Ris | 788 | 12.4 | 75 |
| 1 | LB | Hög | Låg | Botten | Ris | 56 | 3.8 | 21 |
| 1 | MB | Mellan | Mellan | Botten | Ris | 76 | 6.3 | 51 |
| 1 | HB | Låg | Hög | Botten | Ris | 312 | 12.4 | 90 |
| 1 | C* | - | - | - | Ris | 652 | 30.0 | 238 |
| 2 | LT | Hög | Låg | Topp | Ört | 352 | 3.8 | 19 |
| 2 | MT | Mellan | Mellan | Topp | Ört | 480 | 9.5 | 57 |
| 2 | HT | Låg | Hög | Topp | Ört | 856 | 17.2 | 106 |
| 2 | LB | Hög | Låg | Botten | Ört | 48 | 4.2 | 34 |
| 2 | MB | Mellan | Mellan | Botten | Ört | 52 | 9.3 | 79 |
| 2 | HB | Låg | Hög | Botten | Ört | 480 | 16.3 | 111 |
| 2 | C* | - | - | - | Ört | 1116 | 27.1 | 182 |

^a Gallringsstyrka: låg = 30 %, mellan = 60, hög = 85 %.

^b Gallringsform: Topp = En topphuggning(blädning) av det översta trädsiktet. Botten = En bottenhuggning (skärm) av det understa trädsiktet.

^c Marktyp: Ris= Fältskikt bestående av blåbär. Lågört = Fältskikt bestående av lågört.

*Obehandlad referensyta.

Datainsamling och genomförande

I denna undersökning användes det optiska instrumentet LAI-2202TC (Se Bilaga 1) för att samla in LAI data.

Mätningen genomfördes på förmiddagen den 27 augusti år 2018 under en molnfri dag med klarblå himmel och sol. Den är utförd enligt exempel 3 i LI-COR (2016) "*Example 3 – Two Sensor Measurement without scattering correction*" eftersom det var den enklaste metoden att genomföra utifrån förutsättningarna som rådde på lokalen.

Två mätstavar användes. En placerades ut på en öppen yta cirka 300 meter från provytorna och registrerade automatiskt ljusinsläpp var 30:e sekund (A mätning). Den andra mätstaven mätte ljus under trädskronorna i skogen manuellt genom en operatör på provytorna (B mätning).

Synviddsbegränsningslock med ett öppet 270 graders synfält ("6520-029") (Figur 2) användes för båda mätstavarna, eftersom mätningen skedde under direkt solljus och hade en operatör som kunde påverka ljusinsläppet. Alla fem optiska sensorer användes, ingen exkluderades i inställningarna i kontrollenheten.

På varje yta gjordes mätningar av LAI cirka 0,5 meter över markytan med mätstaven (B mätning) på nio olika positioner: I den inre netto-ytans fyra hörn (markerade träpålar) samt vid fem systematiskt utlagda provpunkter (utmarkerade järnspett) i den inre netto-ytan enligt Figur 5. Sammanlagt var det 9 mätpunkter som gjordes i varje provyta under krontaket i skogen. Totalt blev det ett "Sample size"-SMP på 126 mätpunkter på alla ytor, vilket innebär att det blev 18 mätpunkter per behandling. Mätningarna på varje punkt utfördes likadant; på samma höjd och i samma förhållande till solen. Den fristående mätstaven (A mätning) placerades på samma sätt i förhållande till solen och synviddsbegränsningslocket hindrade sensorn från direkt solljus. Riktningen på den fristående mätstaven (A mätning) ändrades manuellt utifrån hur solens position på himlen förändrades för att alltid hålla samma förhållande till solen.

Efter att mätningarna genomförts överfördes data från båda mätstavarna till kontrollenheten. Sedan fördes datat vidare till en dator och LI-COR (2016)s programvara File Viewer 2200 (FV2200). Genom att använda programmet har datat från båda mätstavarna (A och B) lagts ihop genom en matchning enligt "*metod 1: B/A par i match*" (LI-COR, 2016). Vilket resulterade i LAI värden för alla mätpunkter.

I denna undersökning var övrehöjden på träden på alla ytor cirka 20,6 meter och medelhöjden cirka 9,6 meter, vilket innebär att mätningar kan ha skett inom en radie av cirka 29 meter ($9,6 \text{ m} \times 3$) från mätpunkterna enligt beräkningar grundad på Chason (1991) och LI-COR (2016). Eftersom mätpunkter togs i hörnen av de inre ytorna (30x30m), vilka ligger 10 meter innanför de totala ytorna (50x50m) kan mätningar teoretiskt sett hamnat omkring 19 meter utanför de totala ytorna. Värden från den femte detektorn i optiska sensorn har exkluderats från resultatet för att minska upptagningsradien och undvika att mätningar kan ha skett utanför brutto-ytorna och på det sättet minska felkällor i LAI värden.

Beräkningar

Data från en inventering genomförd år 2016 användes för att skatta volym samt grundyta för alla ytor i undersökningen. Inventeringsdatat består av mätningar av diameter i brösthöjd på alla träd samt höjd på några utvalda provträd inom varje yta.

Grundyta skattades genom formel:

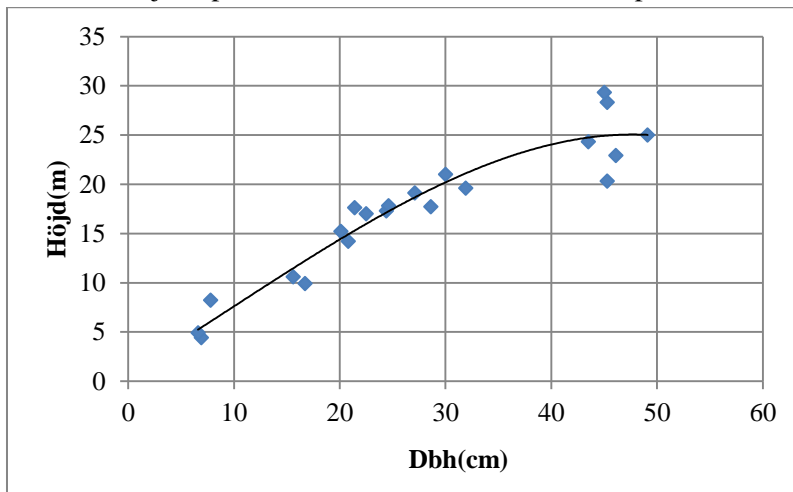
$$G = \pi * r^2$$

Där G är trädens grundyta i m^2 och r är radie på träden i cm.

För varje yta beräknades en höjdkurva som en tredjegrads polynomfunktion (Figur 4) för att kunna skatta trädhöjden för ej uppmätta träd. Exempel på en funktion som användes för träden i yta C1 (Figur 3):

$$H = -0,0002D^3 + 0,0047D^2 + 0,6507D + 0,79$$

Där, H är höjden på träden i meter och D är diameter på träden i cm.



Figur 4. Exempel på en höjdkurva beräknad som tredjegradsens polynomfunktion framtagen genom Excel 2010.

Figure 4. Example of a height curve calculated as the third-degree polynomial function created by Excel 2010.

Dessa värden och inventeringsdata användes sedan för att skatta trädens volym med hjälp av volymfunktioner för enskilda träd enligt Brandel 1990:

För gran användes tabell 1221 och funktionsgrupp 100-01:

$$V = 10^{-0,79783} \times D^{2,07157} \times (D + 20)^{-0,73882} \times H^{3,16332} \times (H - 1,3)^{-1,82622}$$

Där V är trädens volym i m^3 sk, D är diametern i brösthöjd på träden i cm och H är höjd på träden i meter.

För björk användes tabell 1231 och funktionsgrupp 100-01:

$$V = 10^{-0,44224} \times D^{2,47580} \times (D + 20)^{-1,40854} \times H^{5,16863} \times (H - 1,3)^{3,77147}$$

Trädens volymer summerades sedan för att få totalvolymen på ytorna.

Tillväxt från år 2010 till år 2016 beräknades för varje yta utifrån stående volym genom:

$$i_v = V_1 - V_2 + V_m$$

Där i_v är volymtillväxt i m³sk/ha i yta x, V_1 är beräknad volym(m³sk/ha) i yta x år 2016, V_2 är beräknad volym(m³sk/ha) i yta x år 2010 och V_m är beräknad volym(m³sk/ha) för döda träd 2016.

Utifrån tillväxten beräknades löpande årlig tillväxt med formel:

$$(V_2 - V_1)/t$$

Där t representerar försöksperioden i antal år.

En regressionsanalys och korrelationsanalys utfördes med Minitab 18 genom en generell linjär modell med signifikansnivå 95 %. Nollhypotesen säger att total volym, grundyta, stamantal, gallringsform och gallringsstyrka inte har betydelse för LAI värdet. Om p-värdet är mindre än 0,05 kan nollhypotesen förkastas.

En regressionsanalys gjordes även för att se om volym och tillväxt var korrelerat. Nollhypotesen säger att löpande årlig tillväxt inte har en påverkan på stående volym. Ett p-värde lägre än 0,05 gör att nollhypotesen kan förkastas.

RESULTAT

Leaf Area Index

Medelvärden på LAI varierar mellan 0,62-2,17 i båda blocken. Kontrollytorna har högst medelvärde (Figur 5) och kontrollytan i block 1 har högst individuellt värde (Tabell 2). Lägst medelvärde och individuellt värde har yta LB i block 2.

Yta HB i block 1 har störst skillnad på det lägsta och högsta LAI värdet (Tabell 2).

Tabell 2. Block och ytor i försöket med deras beräknade lägsta och högsta individuella LAI värde. Detektor 5 är exkluderad.

Table 2. Blocks and surfaces in the experiment with their calculated minimum and maximum individual LAI value. Detector 5 is excluded.

| Block | Yta | Lägst LAI | Högst LAI | Skillnad |
|-------|-----|-----------|-----------|----------|
| 1 | LT | 0,46 | 1,65 | 1,19 |
| 1 | LB | 0,49 | 2,32 | 1,83 |
| 1 | MT | 0,73 | 2,43 | 1,7 |
| 1 | MB | 0,90 | 1,60 | 0,7 |
| 1 | HT | 0,99 | 1,83 | 0,84 |
| 1 | HB | 0,65 | 2,68 | 2,03 |
| 1 | C | 1,11 | 3,02 | 1,91 |
| 2 | LT | 0,74 | 2,76 | 2,02 |
| 2 | LB | 0,19 | 1,19 | 1 |
| 2 | MT | 0,44 | 2,25 | 1,81 |
| 2 | MB | 0,31 | 2,27 | 1,96 |
| 2 | HT | 0,86 | 2,23 | 1,37 |
| 2 | HB | 0,94 | 1,82 | 0,88 |
| 2 | C | 1,37 | 2,53 | 1,16 |

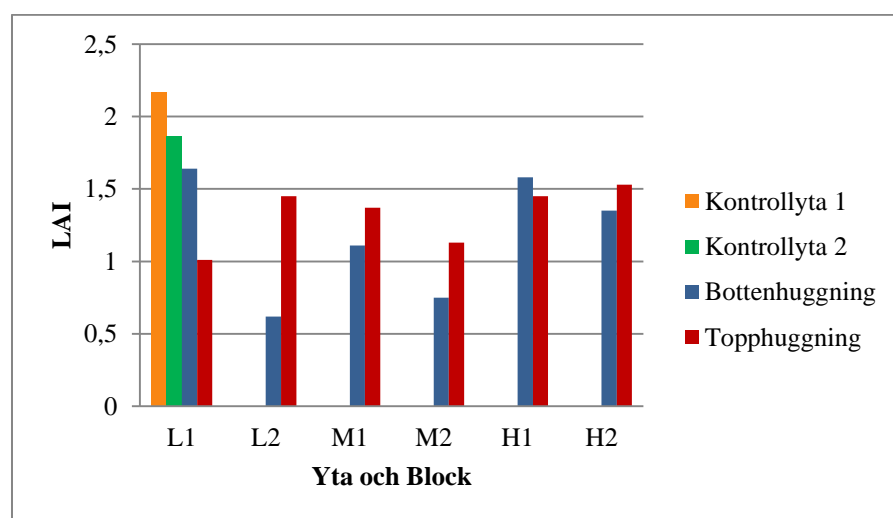


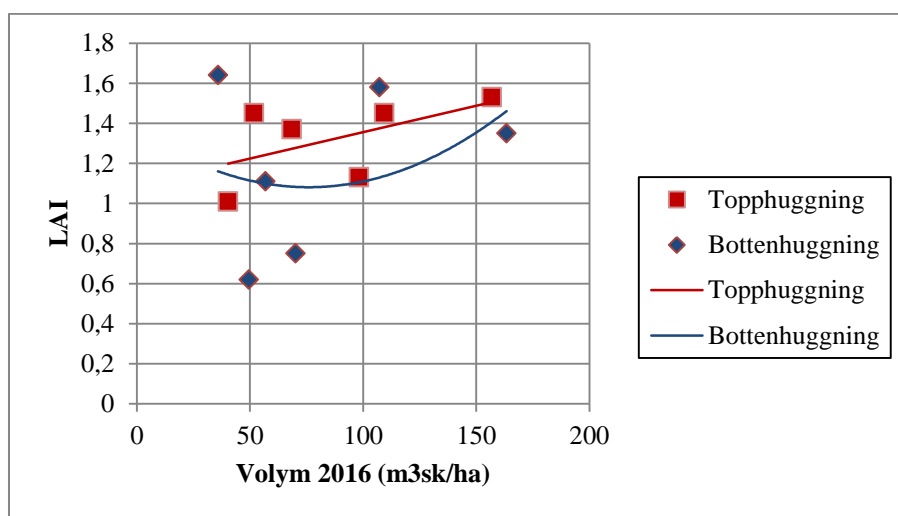
Figure 5. Block och ytor i försöket med deras beräknade medelvärde på LAI. Orange = Block 1, Grön = Block 2.

Figure 5. Blocks and surfaces in the experiment with their calculated mean of LAI. Orange = Block 1, Green = Block 2.

LAI värdet stiger med ökad stående volym (Figur 6), ökad grundyta (Figur 7) och stamantal. Enligt regressionsanalys har stående volym och LAI ett statistiskt samband, p-värde = 0,005.

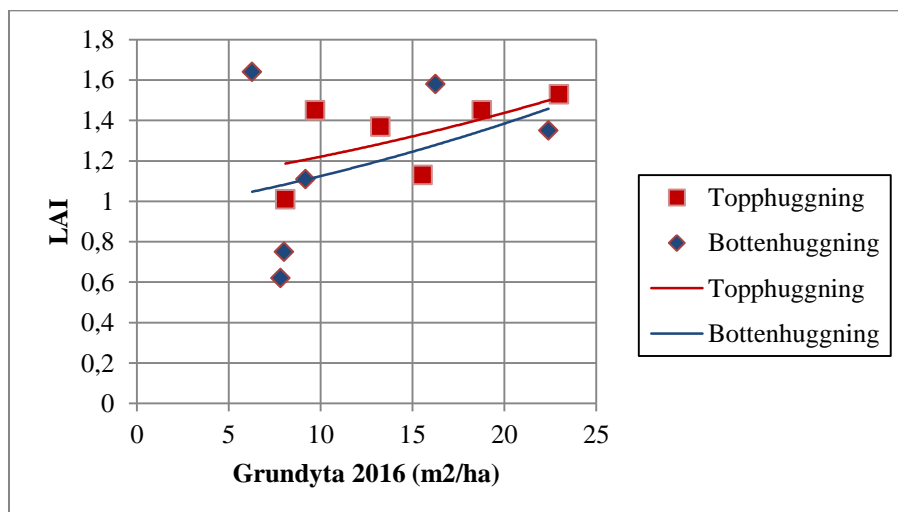
Även stamantal (p-värde = 0,02) och grundyta (p-värde = 0,011) har ett positivt samband med LAI värdet. Korrelationsanalys visar att sambandet varken är svagt eller starkt mellan volym och LAI ($R^2=0,54$, lutningskoefficient 0,004283) samt grundyta och LAI ($R^2=0,5591$, lutningskoefficient 0,033420), men svagare för stamantal och LAI ($R^2=0,3004$ och lutningskoefficient 0,000745).

Toppthuggning ger ett högre LAI värde än bottenhuggning (Figur 6, 7) vid samma virkesförråd. Regressionsanalys visar att det finns ett samband mellan gallringsform och LAI värde (p-värde = 0,019). För toppthuggning är spridningen på observationer liten, bottenhuggning har en större spridning. Korrelationsanalys visar att sambandet mellan volym och LAI är svagt för toppthuggning ($R^2=0,3089$, lutningskoefficient 0,002642) och bottenhuggning ($R^2=0,113$, lutningskoefficient 0,002475).



Figur 6. Förhållandet mellan LAI och stående volym år 2016 uppdelat på gallringsform.

Figure 6. The relationship between LAI and standing volume in 2016 divided by type of thinning.



Figur 7. Förhållandet mellan LAI och grundyta år 2016 uppdelat på gallringsform.

Figure 7. The relationship between LAI and basal area in 2016 divided by type of thinning.

Inom varje yta varierar LAI värdet olika mycket. Den största spridningen i LAI värden finns i ytor med högt kvarvarande virkesförråd. Ytor med lägst variation i LAI har medel kvarvarande virkesförråd (Figur 8).

Av de behandlade ytorna är det de med högt kvarvarande virkesförråd som har högst medelvärde. Värdet är lägre på ytor med lågt och medel kvarvarande virkesförråd (Figur 8). Regressionsanalys visar att gallringsstyrka har en betydelse för LAI värdet (p-värde=0,009).

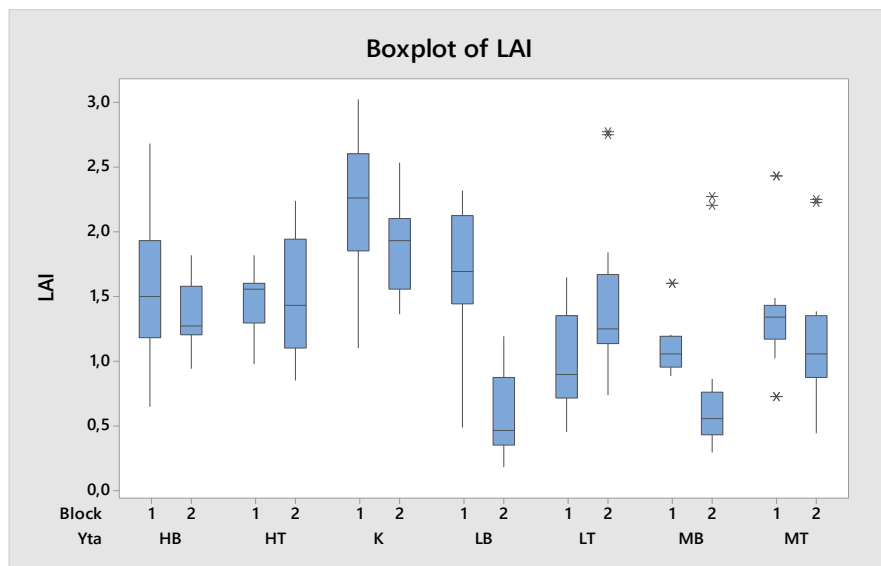


Figure 8. Boxplots över spridningen i LAI mellan ytor och block (Minitab 18).

Figure 8. Boxplots over the distribution in LAI between surfaces and blocks (Minitab 18).

Volym och tillväxt

Det finns en tydlig koppling mellan volym och tillväxt. Löpande årlig tillväxt ökar med en ökad stående volym (Figur 9). Stående volym år 2010 och löpande årlig tillväxt är signifikant korrelerat (p-värde = 0,003). Stående volym år 2016 och löpande årlig tillväxt är också signifikant korrelerat (p-värde = 0,001). Det finns ett starkt samband mellan löpande årlig tillväxt och volym för topphuggning (p-värde= 0,008, $R^2=0,8771$) och bottenhuggning (p-värde=0,03, $R^2=0,8474$).

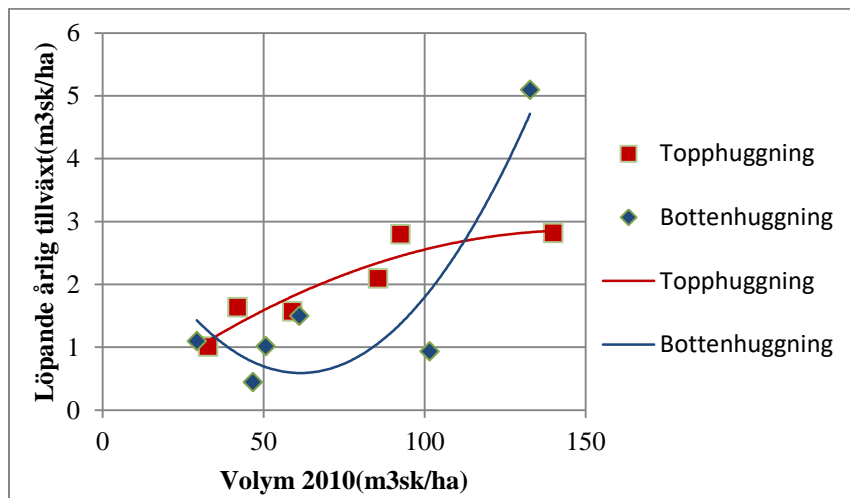
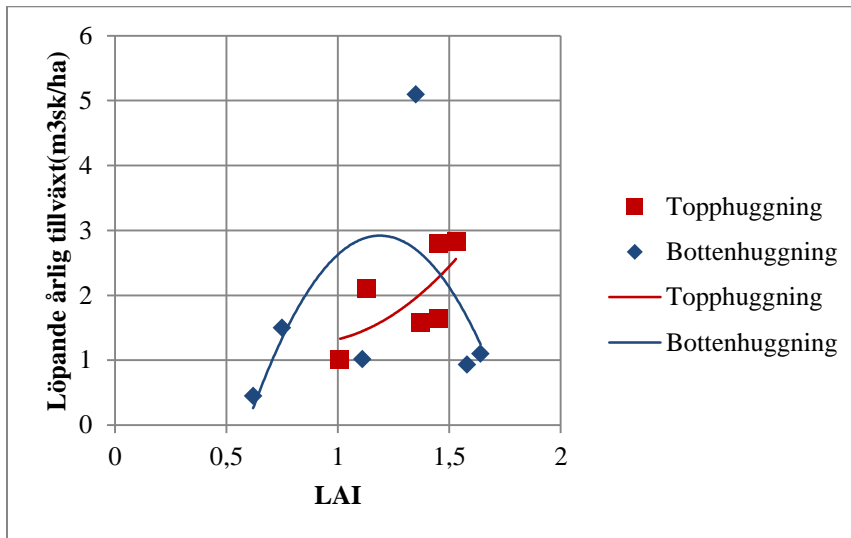


Figure 9. Förhållandet mellan löpande årlig tillväxt samt volym år 2010.

Figure 9. The relationship between continuous annual growth and volume in 2010.

LAI och tillväxt

LAI och löpande årlig tillväxt (Figur 10) är inte signifikant korrelerat (p -värde=0,328). Sambandet är svagt för topphuggning (p -värde=0,193, $R^2=0,4524$) och bottenhuggning (p -värde=0,664, $R^2=0,3292$).

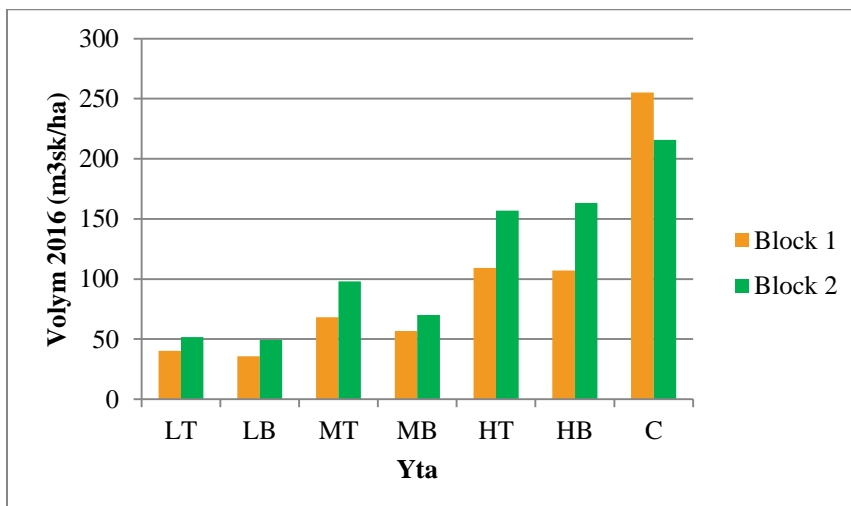


Figur 10. Förhållandet mellan LAI och löpande årlig tillväxt fördelat på gallringsform.

Figure 10. The relationship between LAI and continuous annual growth divided by type of thinning.

Gallringsform och volym

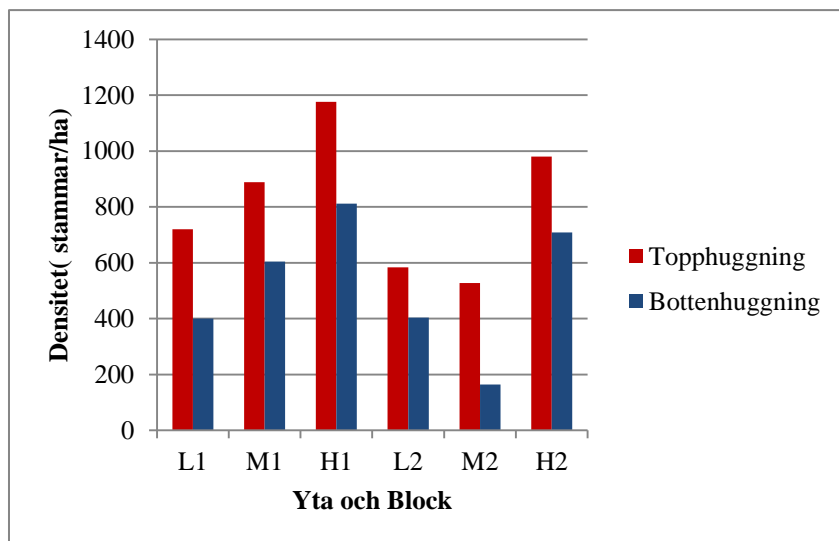
Även fast block ser ut att ha en påverkan på volymen enligt figur 11 visar regressionsanalysen att detta inte stämmer. Det finns ingen signifikant korrelation mellan block och volym (p -värde = 0,602). Block har därför ingen betydelse för stående volym, vilket innebär fältskiktet inte påverkar volymen i denna studie. Däremot har gallringsform ett samband med volym (p -värde = 0,003) och grundyta (p -värde = 0,002). Toppbaggning ger en större volym och grundyta än bottenbaggning (Figur 11).



Figur 11. Variation i volym år 2016 mellan ytor, block och gallringsform.

Figure 11. Volume variation in 2016 between surfaces, blocks and type of thinning.

Det är en skillnad i stamantal mellan ytor behandlade med olika gallringsform. Gallringsformen topphuggning ger ett högre kvarvarande stamantal än bottenhuggning (Figur 12), en högre volym (Figur 6), grundyta (Figur 7) och medelhöjd. Medelhöjden varierar mellan 6,6 – 13,8 meter.



Figur 12. Skillnad i densitet mellan ytor fördelat på gallringsform.

Figure 12. Difference in density between surfaces distributed by type of thinning.

DISKUSSION

Leaf Area Index

LAI värden varierar i denna studie mellan 0,62 - 2,17, där endast en av de orörda kontrolllytorna hade ett värde över 2 (Tabell 2). Enligt Kozai (2016) är LAI värdet i en skog högt om det översiger 3, vilket innebär att värdena i detta försök ligger på en låg nivå och skogen är långt ifrån slutet. Värdena är låga om man jämför med andra studier i granskogar (O'Hara, 2001). Om LAI värdet ligger omkring 1 är bladytan lika stor som markarean. Det innebär att yta LB och MB i block 2 i detta fall har en låg andel bladyta relativt till markytan eftersom att de har ett värde under 1. Eftersom dessa bestånd är skötta med en bottenhuggning borde man kunna fastställa att en bottenhuggning leder till ett lågt LAI värde, med tanke på att gallringsform har en signifikant påverkan på LAI (p-värde 0,019). Gallringen i ytorna skedde för cirka 26 år sedan och man kan därför konstatera att bladytan inte har återhämtat sig i bestånden sedan dess, eftersom att alla ytor hade ett lägre LAI värde än de orörda kontrollytorna. Därför ser gallring ut att ha en negativ påverkan på andel bladyta i ett bestånd. Ljusupptaget ökar med en ökad bladyta dvs. ett ökat LAI värde, alltså borde ljusupptaget vara relativt lågt i detta försök. Däremot varierar värdet beroende på hur förhållandena på lokalen ser ut i beståndet och dess utveckling (Jonckheere et al., 2004). Bestånden hade ett stort antal nerblåsta träd vilket möjligtvis också kan vara en bidragande faktor till de låga LAI värdena. Försöket där studien ägde rum ligger beläget högt upp i Norrbottens län. På grund av det hårdare klimatet i denna del av landet får träd annorlunda trädstruktur än längre söderut. Till exempel är trädkronor ofta mer konformade för att klara av det större snötrycket som bildas på vintern. Detta innebär att granskogen i studien troligtvis har haft träd med väldigt smala och konformade trädkronor, vilket kan ha haft en påverkan på LAI värdet och vara en orsak till varför värdena var låga jämfört med andra studier.

I tidigare studier kommer man fram till att produktionen är lägre i skog med en heterogen istället för homogen trädstruktur (Lundqvist, 2017; Lundqvist 1989). Eftersom att bestånd skötta med blädningsbruk innehåller en heterogen trädstruktur och är fullskiktade antas produktionen vara lägre än i bestånd med en mer enskiktad struktur. Detta är ett problem om trakthyggesbruket ska ersättas av blädningsbruket eftersom att det finns en risk att virkesproduktionen minskar, vilket kan leda till negativa påföljder för både klimatet och markägaren. En förklaring till den minskade produktionen i heterogena bestånd jämfört med homogena bestånd kan vara att den heterogena strukturen gör att den totala bladytan är mindre och därmed också ljusupptaget, vilket gör att heterogena kontinuitetsskogar upptar mindre ljus än homogena skogar. Men det verkar inte stämma med resultatet från denna studie där topphuggning (blädning) verkar ge ett större stående virkesförråd och tillväxt än bottenhuggning (skärmställning) (Figur 11). En orsak till varför resultatet i denna studie visar att blädningsbruk ger en högre produktion än trakthyggesbruk kan vara att ytorna som är behandlade med en bottenhuggning, och därmed har en enskiktad struktur, inte från början slutavverkades och planterades om när försöket anlades år 1990. Ytorna var från början fullskiktade och det enda som gjordes var en avverkning av botten-skiktet för att skapa en skärm vilket skulle representera trakthyggesbruk. Detta kan vara en orsak till varför de blädade ytorna har en större tillväxt i studien eftersom att de bottenhuggda ytorna egentligen inte är skött specifikt enligt trakthyggesbrukets regler. Om de bottenhuggda ytorna istället hade slutavverkats och planterats om från början kanske resultatet blivit annorlunda i slutändan.

Även stamantalet är högre i topphuggda (blädade) bestånd (Figur 12), vilket orsakas av att det finns många träd i olika storlekar. I bestånd med ett högt stamantal är kronslutningen snabbare och det finns mindre utrymme för trädens kronor att breda ut sig. Därför borde tillväxten på kronan bli begränsad, vilket borde innebära att andelen bladyta är mindre än i bestånd med ett lägre stamantal. Det stämmer

dock inte med resultatet i den här studien som visar att det finns ett samband mellan bladyta och stamantal, där blådade ytor med högre stamantal har en större bladyta. Om stamantalet är högt konkurrerar träden förmodligen i högre grad om det tillgängliga ljuset. Det kan vara en orsak till varför andelen bladyta är större i dessa bestånd, eftersom att en större bladyta innebär ett högre ljusupptag (Kozai, 2016). Under förhållanden då stamantalet är högt blir det förmodligen en kraftig beskuggning, vilket enligt Greis (1981) orsakar en vidare trädskada eftersom att grenar växer fortare under beskuggning. Detta kan ytterligare vara anledning till varför andelen bladyta är större i bestånd med högre stamantal. Enligt Chrimes (2004) är höjdtillväxt korrelerat med skogens täthet alltså borde ett tätt bestånd resultera i en ökad tillväxt på höjden, vilket istället kan innebära en minskad andel bladyta. Greis (1981) hävdar att grundytan och tillväxten är lägre i bestånd under kraftig beskuggning. En högre andel bladyta borde då teoretiskt sett orsaka en lägre grundyta. Men resultatet i denna studie visade istället tvärtom att volym, grundyta och LAI har en positiv signifikant korrelation. Bladytan ökar med en ökad stående volym (Figur 6) och grundyta (Figur 7) och var störst i de blådade ytorna med högre stamantal, vilket innebär att hypotes (1) stämmer; Bladytan är proportionell mot skogens täthet.

LAI varierade på grund av gallringsform där topphuggning gav ett högre medelvärde på LAI än bottenhuggning (Figur 5). Topphuggning är en form av blädning och ger en fullskiktad skog, jämfört med bottenhuggning vilket gör skogen mer enskiktad. Därmed resulterar blädning och fullskiktad skogsstruktur i ett högre LAI värde och en större bladyta än en mer enskiktad skog. Ljusupptaget ökar med ett ökat LAI värde enligt Kozai 2016. Eftersom att blädning resulterar i ett högre LAI värde och därmed större bladyta kan denna Kozais teori stämma. Fullskiktade bestånd borde då antagligen påverkas mindre av en gallring än enskiktade bestånd eftersom de har en större bladyta och därmed har ett större överskott av kolhydrater som kan medföra en högre fotosyntespotential, vilket kan innebära att produktionen inte minskar lika mycket efter en gallring. Vid ett ökat ljusupptag ökar fotosyntesaktiviteten i bladen och därför borde även trädens tillväxt öka (Kozai, 2016). Eftersom att Chrimes 2004 hävdar att volymtillväxten är högre efter en topphuggning(blädning) än en bottenhuggning (skärmställning) i bestånd med samma virkesförråd, medan Hynynen 2017 visar att volymtillväxten är lägre i flerskiktade bestånd än enskiktade, vore det intressant att se om bladyta och tillväxt är korrelerat. Albrektson et.al. (2012)s hävdar att bladyta och biomassatillväxt är korrelerat. Ett ökat virkesförråd kan innebära att bladytan måste öka för att underhålla den större mängden stamved. Detta antydande kan dock inte styrkas i denna studie eftersom att resultatet visade att LAI och löpande årlig tillväxt inte är signifikant korrelerat oavsett gallringsform. Vilket innebär att Hypotes (2) inte stämmer; tillväxten inte är proportionell mot LAI. Alltså har bladytan inte någon betydelse för tillväxten i detta fall. Däremot är tillväxten beräknad från tidigare uppmätta inventeringsdata och LAI värden är uppmätta i nutid. Vilket innebär att LAI värden kan ha varit annorlunda vid anläggningen av försöket år 1990 och har förändrats under tiden fram till att värdena mättes år 2018. Detta kan vara en förklaring till varför det inte finns ett samband mellan tillväxt och LAI i denna studie.

Toppbyggda (blådade) ytor med fältskikt lågörter har en högre andel bladyta än ytor med fältskikt blåbär (Figur 11). Anledningen till detta kan vara att den fotosyntetiska effektiviteten i bladen är större i ytor med fältskikt lågörter, eftersom att marken innehåller mer tillgänglig näring och träden därför får en ökad näringstillgång som kan hjälpa till att göra trädskronorna större och därmed öka bladytan. Virkesförrådet påverkar produktionen, vilket påverkar bladytan, som i sin tur borde vara påverkad av markens bördighet. På ytor med fältskikt blåbär kanske även kronslutenheten är svårare att uppnå eftersom marken är magrare, vilket kan bidra till ett lägre LAI värde. De bottenbyggda ytorna hade däremot omvänt resultat, där ytor med fältskikt blåbär hade högre LAI värde än ytor med fältskikt lågörter, alltså innefattar teorin ovan inte enskiktad skog.

Även gallringsstyrka hade en påverkan på andelen bladyta. En hög gallringsstyrka gav ett lågt kvarvarande virkesförråd och därmed också en lägre andel bladyta än ytor som behandlats med en låg gallringsstyrka och har ett högt kvarvarande virkesförråd (Tabell 9). Alltså bör alltid ett högt virkesförråd lämnas kvar i framtida gallringar/blädningar för att bibehålla ett högt LAI värde, dvs en stor bladyta i beståndet. Eftersom att gallring minskar andelen bladyta och därmed produktionsförmågan.

Volym och tillväxt

Virkesförrådet har en betydelse för tillväxten enligt Andreassen (1994), Lundqvist (1989b), Lähde et.al. (2002). Om man ska upprätthålla en hög tillväxt genom blädningsbruk får inte virkesförrådet bli för lågt (Skogsstyrelsen, 2017; Skogsstyrelsen, 2010¹). I denna studie visar mätningar att det finns en positiv signifikant korrelation mellan tillväxt och virkesförråd (Figur 9), vilket överensstämmer med studier av Ahlström (2016), Chrimes (2004), Eyre & Zillgitt (1953), Lundkvist (1994), (2007) och Lähde (1994) där volymtillväxten ökar med en ökad stående volym i granskogar skötta med blädning. Anledningen till varför tillväxten ökar med ett ökat virkesförråd kan bero på att bladytan ökar. Ett ökat virkesförråd innebär en ökad andel stamved och trädkrona att underhålla, vilket i sin tur innebär att den fotosyntetiska aktiviteten måste bli större för att kompensera för detta och därmed ökar andelen bladyta. Men eftersom att hypotes (2) i detta fall inte stämmer kan inte resonemanget styrkas. Men det innebär i alla fall att faktorer som stående virkesförråd har en viktig betydelse vid skogsförvaltning. Om man tillämpar blädning kan det därför vara viktigt att behålla ett högt kvarvarande virkesförråd i beståndet efter varje avverkning för att inte minska den löpande volymtillväxten i framtiden. Annars riskerar man precis som i början av 1900-talet att hugga sönder skogarna vilket medför en oacceptabel återväxt (Bäckström, 2006). Kan man bibehålla en hög tillväxt genom att bevara ett högt virkesförråd blir dessutom klimatnyttan högre eftersom att andelen koldioxid som lagras i skogen ökar (SLU, 2015). Studier visar nämligen att en högre tillväxt ger en ökad klimatnytta (Lundmark 2017). Detta bidrar även till miljömålen och klimatavtalet som säger att utsläpp av växthusgaser ska minska.

Osäkerheter i försöket

Vid analys av resultatet framkom några osäkerheter. Den yttersta (femte) detektorens (Figur 13) värden var lägre än resterande värden i sensorn. Vid medräkning av dessa värden i dataanalysen av volym och LAI blev resultatet statistiskt signifikant. Sambandet blev svagare vid borträkning av värdena, men däremot fortfarande signifikant. Detta var alltså en delvis avgörande faktor för resultatet i slutändan. Genom att räkna bort den yttersta detektorns värden blir sensorns vy begränsad till zenit vinkel 53° istället för 68°, vilket förmodligen kan minska chansen att sensorn mäter utanför en yta och på detta sätt minska felkällor. Därför räknades dessa värden bort i dataanalysen trots att resultatet fick ett svagare statistiskt samband.

Vid analys av data togs alla mätpunkters (Figur 2) värden med för att datamängden skulle bli större och därför borde troligtvis även resultatet blivit trovärdigare. I detta fall var mätpunkterna i hörnen av ytornas inre netto-yta nära brutto-ytornas yttre kanter, vilket kan innebära att deras värden kan ha blivit påverkade av omgivande terräng utanför och mellan ytorna. Därför kan även detta leda till en felkälla i resultatet eftersom att dessa punkter har tagits med i beräkningarna.

Mätningar i försöket gjordes med indirekta metoder eftersom att dessa metoder går snabbare att genomföra och tidsåtgången för arbetet var kort. Indirekta metoder kan däremot leda till underskattningar av LAI värden. Värden mätta med indirekt metod kan vara lägre än värden mätta med direkta metoder på grund av att löv överlappar varandra och att det är luckor i trädkronorna eller

att sensorer inte kan skilja på ljuset som upptas av löv och ljuset som träffas av andra strukturer som stammar och grenar (Cutini, 1998; Gower, 1991; Rhoads, 2004). Instrumentet kan korrigeras för att inte räkna med ytan som täcks av annat än löv (Olivas, 2013). Däremot är underskattningar av LAI värden med indirekta mätmetoder ofta väldigt små och därför är dessa optiska metoder ändå väldigt användbara verktyg. Andra studier visar att indirekta metoder ger acceptabla mätvärden som korrelerar med direkta metoders mätvärden eller åtminstone mätvärden som är relativt lika i jämförelse med direkta metoder (Chason, 1991; Gower, 1999; Nictora, 1999; Olivas, 2013).

Enligt LI-COR (2016) kan markens lutning, om den är kraftig, påverka mätningen av LAI med instrumentet och bör tas hänsyn till. Men eftersom att platsen där mätningen skedde i denna studie hade en svag marklutning påverkade det troligtvis inte resultatet och ingen hänsyn i genomförandet av mätningen togs därför till detta.

Slutsats

Resultaten visar på en positiv korrelation mellan bladyta och stående volym. Bladytan är större i tätare bestånd med en högre volym. Alltså har skillnaden i täthet och ljusinsläpp i beståndet en påverkan på bladytan. Däremot har bladyta och volymtillväxt inget samband, men stående volym och tillväxt har en stark koppling. Volymen har därför en viktig betydelse vid skogsförvaltning. En slutsats man kan dra från dessa resultat är att bladytan påverkas av det stående virkesförrådet och men har inget samband med tillväxten. Skogens struktur påverkas av ljusinsläpp och stående virkesförråd men har ingen direkt påverkan på produktionen. Skillnader i bladyta i heterogena granskogar skötta med blädningsbruk beror på skillnader i stående virkesförråd, grundyta och stamantal, men bladytan har ingen påverkan på tillväxten.

En annan slutsats är att skog skött med blädning verkar kunna ge en högre virkesproduktion än skog skött med skärmställning, vid samma kvarvarande virkesförråd under de första 25 åren. Blädningsbruk kan därmed ge ett högre stående virkesförråd än skogsskötsel mer lik trakthyggesbruk som skapar en mer enskiktad skog.

Det behövs fler studier om produktion i skogar som sköts med hyggefria metoder och framförallt bör man forska kring långsiktiga prognoser (Cedergren, 2008; SLU, 2018). Det är ett problem att skogar skötta med blädningsbruk har en lägre produktion än skog skött med trakthyggesbruk om skötselsystemet har tänkt användas i större utsträckning i framtiden. För att komma runt problemet skulle eventuellt en bättre förståelse för hyggesfritt skogsbruk vara användbart. Genom att förstå hur skogens dynamik fungerar kan man förhoppningsvis sköta skogen på ett mer hållbart sätt i framtiden utan att minska tillväxten. Den här studien har förhoppningsvis bidragit till en lite bättre förståelse för hur skogens struktur påverkar produktionen i heterogena granskogar skötta med blädningsbruk och visar att det faktiskt är möjligt att få ett högre stående virkesförråd genom blädning än vid skötselmetoder som skapar en mer enskiktad skog.

REFERENSER

Litteratur

- Ahlström, M., & Sveriges lantbruksuniversitet. (2016). *Stand Development and Growth in Uneven-aged Norway spruce and Multi-layered Scots Pine Forests in Boreal Sweden*. SLU. Institutionen för skogens ekologi och skötsel.
- Ahmad, P., & Rasool, S. (2014). *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance. Volume 2, A Sustainable Approach*. San Diego, California: Academic Press. Print. Tillgänglig: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128008751000156>
- Alados, Foyo-Moreno, & Alados-Arboledas. (1996). Photosynthetically active radiation: Measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 78(1), 121-131.
- Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. (2012). Skogsskötselns grunder och samband. *Skogsskötselserien*, del 1.
- Anderson, M. (1964). Studies of the Woodland Light Climate: Ur: The Photographic Computation of Light Conditions. *Journal of Ecology*, 52(1), 27-41.
- Anderson, MC. (1971). Radiation and crop structure. Ur: Sestak, Z., Catsky, J., Jarvis, PG. 1971. *Plant photosynthetic production: manual of methods*. Hague, Nederländerna.
- Andersson, C. et al. (2019). *Fördjupad utvärdering av Levande skogar 2019*. Skogsstyrelsen. Rapport 2.
- Andreassen, K. (1994). *Utvikling og produksjon i bledningsskog*. Meddelelse fra Skogforsk 47, s. 1-37.
- Arpi, G. (1959). *Sveriges skogar under 100 år*. Kungliga Domänstyrelsen.
- Baldocchi, D. et al. (2000) Climate and vegetation controls on boreal zone energy exchange. *Global Change Biology*, 6(S1), 69-83.
- Bengtsson, L & Rosell, S. (2010). *Hyggesfritt skogsbruk*. Skogsstyrelsen. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/bruks-skog/avverkning/hyggesfritt-skogsbruk-20101214.pdf> [2018-09-25]
- Brandel, G. (1990). *Volymfunktioner för enskilda träd. Tall, gran och björk*. SLU, Institutionen för skogsproduktion, Rapport 26, 72 s., Garpenberg. Tillgänglig: <https://www.slu.se/contentassets/3eb2b64ac79f4bd4b9b9d331d233bcae/brandel.pdf>
- Brännlund, R. et al. (2012). The Costs and Benefits of Intensive Forest Management. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 3(4), 1-23.
- Bäckström, P-O. (2006). Starka skogsband. Ur: Abrahamsson, M & Rahmqvist, E. 2006. *Lyksälie*. 1:a uppl. Lycksele kommun, Västerbottens läns hembygdsförbund.
- Cedergren, J. (2008). *Kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk*. Rapport. Skogsstyrelsen. Jönköping. Tillgänglig: <https://shopcdn.textalk.se/shop/9098/art77/4645977-aebb08-1561.pdf>

- Chason, Baldocchi, & Huston. (1991). A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57(1), 107-128.
- Chrimes, D. (2004). *Stand Development and Regeneration Dynamics of Managed Uneven-aged Picea abies Forests in Boreal Sweden*. Silvestria 304, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae ,SLU, Umeå.
- Cutini, A., Matteucci, G., & Mugnozza, G.S. (1998). *Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests*. *Forest Ecology and Management*, (1-3), 55-65.
- Dahlberg, A. (2011). *Kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk - Slutrapport för delprojekt naturvärden*. Skogsstyrelsen.
- Day, M. et al. (2001). Age-related changes in foliar morphology and physiology in red spruce and their influence on declining photosynthetic rates and productivity with tree age. *Tree Physiology*, 21(16), 1195-204.
- Enander, K-G. (2010). *Skogsbrukssätt och skogspolitik 1900–1950*. Report, No. 48, Department of Silviculture. Umeå, Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Espmark, K. (2017). *Debatten om hyggesfritt skogsbruk i Sverige en analys av begrepp och argument i svenskt pressmaterial 1994-2013*. Umeå: Future Forests, SLU.
- Eyre, F., & Zillgit, W. (1953). *Partial Cuttings in Northern Hardwoods of the Lake States: Twenty-Year Experimental Results*, Technical Bulletin.
- Fang, H. & Liang, S. (2014). in Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.
- FSC. (2013). *FSC®-certifieringens bidrag till biologisk mångfald*. Rapport 2. Enetjärn Natur AB. Forest Stewardship Council. Svenska FSC. Tillgänglig: <https://se.fsc.org/preview.fsc-certifieringens-bidrag-till-biologisk-mangfald.a-643.pdf>
- Greis, I. & Kellomäki, S. (1981). Crown structure and stem growth of Norway spruce undergrowth under varying shading. *Silva Fennica vol 15*. N:o 3:306-322.
- Gspaltl, M. et al. (2013). Leaf area and light use efficiency patterns of Norway spruce under different thinning regimes and age classes. *Forest Ecology and Management*, 288, 49-59.
- Gower, S.T., & Norman, J.M. (1991). Rapid estimation of leaf area index in conifer and broad-leaf plantations. *Ecology : A Publication of the Ecological Society of America*, (5), 1896-1900.
- Gower, Kucharik, & Norman. (1999). Direct and Indirect Estimation of Leaf Area Index, f APAR, and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 70(1), 29-51.
- Gärdenfors, U. (2005). *The 2005 Red List of Swedish Species*. ArtDatabanken, SLU, Uppsala.
- Hanewinkel, M. (2004). Spatial patterns in mixed coniferous even-aged, uneven-aged and conversion stands. *European Journal of Forest Research*, 123(2), 139-155.
- Hannerz, M. et al. (2017). Hyggesfritt skogsbruk i Sverige och Finland -metoder, omfattning och regelverk. . Ur: Hannerz, L. m.fl. 2017. *Hyggesfritt skogsbruk. En kunskapsammanställning från Sverige och Finland*. Future Forests Rapportserie 2017. Umeå, SLU, Enheten för skoglig forskning. Tillgänglig: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/f-for/pdf/ff-rapport_hyggesfritt_skogsbruk_en_kunskapssammanstallning-2017-04-02.pdf#page=71

Hawkins, P.J., (1962). *European Selection Forests with Special Reference to Methods of Yield Determination in Comparison with Callitris glauca (cypressine) forests of southern Queensland*. Univeristy of oxford, Dissertation.

Hynynen, J. (2017). Virkesproduktion i flerskiktade och enskiktade granskogar. Ur: Hannerz, L. m.fl. 2017. *Hyggesfritt skogsbruk. En kunskapsammanställning från Sverige och Finland*. Future Forests Rapportserie 2017. Umeå, SLU, Enheten för skoglig forskning. Tillgänglig: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/f-for/pdf/ff-rapport_hyggesfritt_skogsbruk_en_kunskapssammanstallning-2017-04-02.pdf#page=71

Jonckheere, I. et al. (2004). Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121(1), 19-35

Kozai, T. et al. (2016). *Plant factory : An indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Amsterdam; Boston: Elsevier/AP, Academic Press.

Kraft, A.D. (1892). Zur Regelung des Plänterwaldes. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 46, 325-328.

LI-COR, (2016). *LAI-2200C Plant Canopy Analyzer. Instruction Manual*. Publication No. 984-14112. LI-COR, Inc. Lincoln, NE. 07/2016. Tillgänglig: <https://licor.app.boxenterprise.net/s/fqjn5mlu8c1a7zir5qel>

Liocourt, F. de. (1898). De l'aménagement des sapinières. *Bulletin de la Société Forestière de Franche-Comté et Belfort* 6, 396-405.

Loomis & Connor, (1992). R.S. Loomis, D.J. Connor. *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*. Cambridge University Press, Cambridge.

Lundmark, H., et al. (2013), *The history of clear-cutting in northern Sweden – Driving forces and myths in boreal silviculture*, *Forest Ecology and Management*, 307:112–122.

Lundmark, T. (2017). Hyggesfritt skogsbruk och klimatet. Ur: Hannerz, L. m.fl. 2017. *Hyggesfritt skogsbruk. En kunskapsammanställning från Sverige och Finland*. Future Forests Rapportserie 2017. Umeå, SLU, Enheten för skoglig forskning. Tillgänglig: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/f-for/pdf/ff-rapport_hyggesfritt_skogsbruk_en_kunskapssammanstallning-2017-04-02.pdf#page=71

Lundqvist, L. (1989). *Blädning i granskog : strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och föryngring på försöksytor skötta med stamvis blädning = [Use of the selection system in Norway spruce forests] : [changes in the stand structure, volume increment, ingrowth and regeneration on experimental plots managed with single-tree selection]* . SLU. Umeå.

Lundqvist, L., (1989b). Use of the Selection System in Norway Spruce Forests - Changes in the Stand Structure, Volume Increment, Ingrowth and Regeneration on Experimental Plots Managed with Single-tree Selection. Ur: Lundqvist, L (1989). *Blädning i granskog – Strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och föryngring på försöksytor skötta med stamvis blädning*. Avhandling, Institutionen för skogsskötsel, SLU, Umeå.

Lundqvist, L. (1994). *Beståndsföryngring i fjällnära granskog. –Ett fältexperiment rörande beståndsförmens inverkan på granplantors etablering, överlevnad och tillväxt efter avverkning*. Arbetsrapporter Nr 80. Institutionen för skogsskötsel, SLU. Umeå.

- Lundkvist, L & Fridman, E. (1996). *Influence of local stand basal area on density and growth of regeneration in uneven-aged picea abies stands*. Scandinavian Journal of Forest Research. Scand. J. For. Res. 11:364-369. Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för skogsskötsel. Umeå, Sverige.
- Lundqvist, L., (2005). *Blädningskompendium*. Institutionen för skogsskötsel, Rapport nr. 61. SLU, Umeå.
- Lundqvist, L. et al. (2007). *Stand development after different thinnings in two uneven-aged Picea abies forests in Sweden*. Forest Ecology and Management, 238, 141-146.
- Lundqvist, L et al. (2014). *Skogsskötselserien 11, Blädningsbruk* . 2. omarb. uppl. Skogsstyrelsen. Jönköping.
- Lundqvist, L. (2017). Tamm Review: Selection system reduces long-term volume growth in Fennoscandic uneven-aged Norway spruce forests. *Forest Ecology and Management*, 391, 362-375.
- Lähde, E. et al. (1994). Structure and yield of all-sized and even-sized conifer-dominated stands on fertile sites. *Annales Des Sciences Forestières*, 51(2), 97-109.
- Lähde, E. et al. (2002). *Growth and Diversity Effects of Silvicultural Alternatives on an Old-growth Forest in Finland*. Forestry 75, s. 395- 400.
- Mason, B., Kerr, G. & Simpson, J. (1999). *What is continuous cover forestry?* Forestry Commission, Information Note.
- McWilliam, A.-L. C. et al. (1993). Leaf Area Index and Above-Ground Biomass of terra firme Rain Forest and Adjacent Clearings in Amazonia. *Functional Ecology*. 7 (3). Tillgänglig: [10.2307/2390210](https://doi.org/10.2307/2390210)
- Miller, JB. (1967). A formula for average foliage density. *Australian Journal of Botany* 15, 141-144.
- Nackaerts, K., et al. (2000). Sampling methodology for LAI measurements with LAI-2000 in small forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology*. 101 (4), 247–250.
- Naturvårdsverket. (2017). *Miljömålen : årlig uppföljning av Sveriges nationella miljömål 2017*. Rapport 6749. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: https://www.miljomal.se/Global/24_las_mer/rapporter/malansvariga_myndigheter/2017/etappmalen-2017.pdf
- Nilson, K & Lundkvist, L. (2001). *Effect of stand structure and density of development of natural regeneration in two Picea abies stands in Sweden*. Scandinavian Journal of Forest Research. Scand. J. For. Res. 16: 253-259. Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för skogsskötsel. Umeå, Sverige.
- Norman, J.M., and Campbell, G.S. (1989). Canopy structure. In: Plant physiological ecology; field methods and instrumentation. Edited by R.W. Pearcy, J. Ehleringer, H.A. Mooney, and P.W. Rundel. Chapman & Hall Inc., New York. pp. 301–325.
- Ogburn, R. Matthew & Edwards, Erika J. (2010) The Ecological Water-Use Strategies of Succulent Plants. *Advances in Botanical Research*. [Online] 55 (C), 179–225. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123808684000041?via%3Dihub>.
- O'Hara, K. L. (2001). Leaf area allocation as a guide to stocking control in multi-aged, mixed-conifer forests in southern Finland. *Forestry*. 74 (2), 171–185.

- Olivas, Paulo C. et al. (2013). Comparison of direct and indirect methods for assessing leaf area index across a tropical rain forest landscape. *Agricultural and forest meteorology*. 177110–116.
- Perttu, K. & Morén, A-S. (1995). Regionala klimatindex –verktyg vid bestämning av skogsproduktion. *Fakta skog Nr 13*. SLU.
- Pettersson, R. (2013). *Skogsbruk under efterkrigstiden*. KSLA. Tillgänglig: <http://www.ksla.se/anh/files/2013/08/Appendix-av-Ronny-Pettersson.pdf>
- Regeringen. (2016). Godkännande av klimatavtalet från Paris, *Prop. 2016/17:16*. Miljö och energidepartementet, Regeringen. Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/proposition/2016/09/prop.-20161716/>
- Rhoads, A., et al. (2004). Comparing direct and indirect methods of assessing canopy structure in a northern hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(3), 584-591
- Ryu, Y., et al. (2010). How to quantify tree leaf area index in an open savanna ecosystem: A multi-instrument and multi-model approach. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150 (1), 63–76.
- SLU. (2018). *Skog & framtid : en tidning om svensk skogsforskning*. Nr 1. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: <https://internt.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/f-for/pdf/skog-och-framtid-1-2018.pdf>
- SLU. (2014). *Skog & framtid : en tidning om svensk skogsforskning*. Nr 2. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/f-for/pdf/skog_framtid_2_2014.pdf
- Skogsstyrelsen. (2015). *Skogseko : aktuellt från Skogsstyrelsen och skogsvårdsstyrelserna*. Nr 2. Stockholm: Skogsstyrelsen SKS. <https://www.skogsstyrelsen.se/om-oss/var-tidning-skogseko/skogseko-2-2015/hyggesfritt-stalls-mot-kalhyggen/> [2018-09-26]
- Skr. 2003/04:39. Regeringens skrivelse. *Uppföljning av skogspolitiken*, s.32.
- Waring, R. H. & Running, S. W. (2007). *Forest ecosystems analysis at multiple scales*. 3rd ed. Amsterdam ; Elsevier/Academic Press. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123706058500074?via%3Dihub>
- Warren W, J., & J. E. Reeve. (1959). *Analysis of the spatial distribution of foliage by two-dimensional point quadrats*. New Phytol. 58: 92-101.
- Welles, J.M. & Norman, J.M., (1991). Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. J. 83, 818–825

Internet

- PEFC. (2019). Tillgänglig: <https://pefc.se/informationsmaterial/> [2019-04-15]
- SGU. (2018). *Jordarter 1:250 000, nordligaste Sverige*. Tillgänglig: <https://www.sgu.se/produkter/kartor/kartvisaren/jordkartvisare/jordarter-1250-000-nordligaste-sverige/> [2018-09-20].
- Skogsstyrelsen. (2017). *Hyggesfritt skogsbruk*. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/bruka-skog/olika-satt-att-skota-din-skog/hyggesfritt-skogsbruk/> [2018-09-25]

Skogsstyrelsen. (2010). § 1 Policy för hyggesfritt skogsbruk. Protokoll Nr 111. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/bruka-skog/avverkning/policy-for-hyggesfritt-skogsbruk.pdf> [2018-09-25]

SLU. (2015). *Stort intresse för hyggesfritt skogsbruk*. SLU Future Forests. Tillgänglig: <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/future-forests/nyheter-fran-future-forests/2015/5/stort-intresse-for-hyggesfritt-skogsbruk/>

¹SMHI. (2017). *Vegetationsperiod*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/vegetationsperiod-1.6270> [2019-08-01]

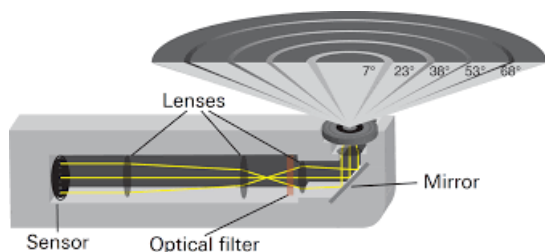
²SMHI. (2017). *Normal årsnederbörd*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/kartor/monYrTable.php?myn=13&par=normYrNbd> [2019-08-01]

BILAGOR

Bilaga 1

LAI-2202TC Tall Canopy Analyzer

De senaste 40 åren har det tagits fram olika instrument för att mäta LAI genom indirekta metoder (Jonckheere et al., 2004) och ett av dessa är LAI-2202TC (Gower, 1991; LI-COR, 2016; Rhoads, 2004). Instrumentet beskriver spatial variation av LAI (Chason, 1991) och är baserad på LAI-2200. Det har även en kontrollenhet "LAI-2270C Control Unit" samt två "LAI-2250 Plant Canopy Sensor" mätstavar utrustade med "fish-eye"optiska sensorer och ljusmätningar kan göras med ett synfält på 148 grader. Instrumentet mäter sannolikheten att se himmel under skogens trädkronor i olika riktningar, där mätningen baseras på optik och detektorer som mäter hur strålningens hastighet försvagas när de tränger igenom trädkronan från olika zenitvinklar. Den optiska sensorn (LAI-2250 Optical Sensor) tar sedan fram en bild av en hemisfärisk vy genom fem detektorer, vilka mäter i fem olika zenit vinklar; 7°, 23°, 38°, 53°, och 68° (Chason, 1991; Gower, 1991; LI-COR, 2016) (Figur 13). Mätningen av ljusspridningen både ovanför (A mätning) och under (B mätning) trädkronorna i skogen sker samtidigt genom de två stavarna, vilket gör att man kan beräkna mängden blad i trädkronorna "Bladyteindex" (LAI) från en modell av energitransport genom strålning i vegetativa krontak och riktningen på bladen "mean foliage tilt angle" (MTA) på en yta. (A) mätning ska göras på en öppen yta så nära (B) mätning som möjligt, både lägesmässigt och tidsmässigt (Gower, 1991; LI-COR, 2016). Om mätningarna inte görs samtidigt kan det bli stora fel i resultatet. Ljuset förändras inte bara under säsongen utan kan även ändra sig på minutnivå (Anderson, 1964). Enligt Gower (1991) innebär en större bladyta att LAI värden blir lägre i mätningar under krontaket i en skog än ovanför. Teoretiskt sett bör (A) mätning få ett högre resultat LAI värde än (B) mätning taget på samma tidpunkt. En (B) mätning är dålig om värdet är högre än en (A) mätningens värde (LI-COR, 2016).



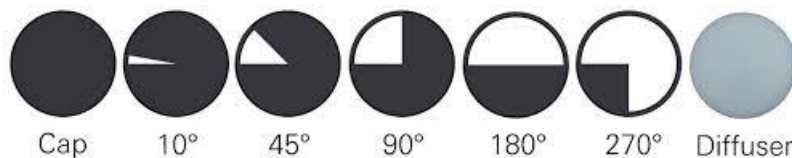
Figur 13. En illustration av en optisk sensor LAI-2250 i tvärsnitt med dess fem detektorer som mäter i olika vinklar (LI-COR, 2016).

Figure 13. Illustration of an optical sensor LAI-2250 in cross section with its five detectors measuring at different angles (LI-COR, 2016).

Strålningen för att beräkna LAI värden med mäts genom optiska strålningssensorer i instrumentet. Denna strålning kallas fotosyntetisk aktiv strålning i luften (PAR), vilket är den generella strålningstermen för både foton och energitermer. Med PAR menas solstrålning med en våglängd mellan 400-700 nm som kan upptas av växter i den fotosyntetiska processen och är en viktig källa till energi (Alados, 1996; Gower, 1991). Ett för högt värde på PAR kan skada växter och ett för lågt värde kan göra att kolupptaget blir begränsat och därmed också fotosyntesen (Ahmad, 2014; Ogburn, 2010). Instrumentets sensor mäter allt ljus mellan 490-700 nm och blockerar ljus med en våglängd lägre än detta genom ett optiskt filter för att förhindra att upptaget av ljus spridat och reflekterat av löven i träden sker (Welles & Norman, 1991).

Kontrollenheten lagrar data från sensorerna och genomför beräkningar för att bestämma LAI samt medelvärdet på infallsvinkeln av löven. Eftersom att löv ofta överlappar och är klumpade längs med stammar och grenar måste detta tas hänsyn till i beräkningar för att ta fram LAI. Beräkningar och ytterligare detaljer finns att läsa om under kapitel 10 ("Section 10. Theory") i LI-COR (2016) eller i Bilaga 2.

För att begränsa synfältet och blockera solens ljus eller operatören från sensorn vid mätningar finns det olika "synviddbegränsningslock". För att få bra mätvärden genom att använda två mätstavar måste dessa ha samma storlek på synviddbegränsningslocken eftersom att deras optiska sensorer ska se samma del av himlen. Storleken på locken är 10°, 45°, 90°, 180°, 270° samt ett heltäckande lock "Lens Cap" och ett vitt nästan heltäckande lock med en liten öppning i mitten, en sk. "sunlit diffuser" (Figur 14).



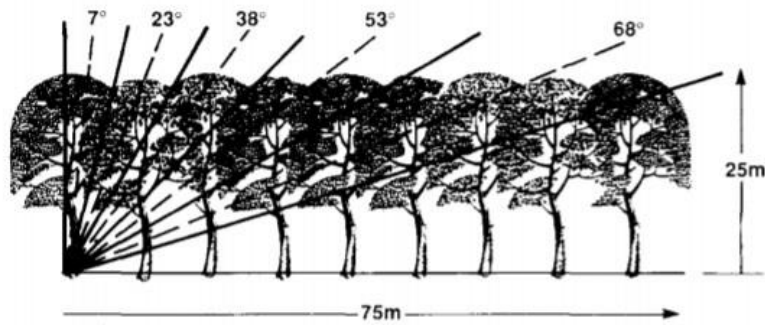
Figur 14. LAI-2200C synviddbegränsningslock och dess olika storlekar (LI-COR, 2016).

Figure 14. LAI-2200C view restricting caps and its various sizes (LI-COR, 2016).

Den optiska mätningen är känslig för olika väderförhållanden. För att få bra mätvärden måste ljusförhållandena vara diffusa för att inte riskera att ljuset reflekteras av vegetationen. Bra mättingsförhållanden fås under dagar då himlen har heltäckande molnighet eller under molnfria dagar i gryningen samt vid solnedgång (Nackaerts et al., 2000; Rhoads, 2004). Andra acceptabla mättingsförhållanden är under molnfria dagar med en klarblå himmel och sol. Dåliga förhållanden att mäta är under dagar med oregelbunda molnformationer och delvis sol (LI-COR, 2016). Moln kan orsaka stora ljusvariationer på kort tid, speciellt under dagar med delvis molnighet (Anderson, 1964).

LAI mätningen med instrumentet är känsligt för topografiska förändringar till exempel om det är en brant lutning på marken där mätningen sker. Detta kan bli en felkälla om det inte övervägs innan mätningar sker (Chason, 1991; LI-COR, 2016).

Sensorn mäter i ett koniskt synfält och den yttersta (femte) detektorn mäter zenit vinkel 68 grader. Den har därför en radie på ungefär 3 gånger trädhöjden vilket innebär att mätningen når 3 gånger trädhöjden i bredd (Figur 15). Alternativt kan man beräkna LAI men ta bort den yttersta detektorn från resultatet för att minska felkällor. Genom att ta bort den mäter sensorn i ett synfält med en radie på ungefär 1,6 gånger trädhöjden. Detta kan vara ett sätt för att minska systematiska fel genom att undvika att få med data utanför ytor som ska mätas. En exkludering av den yttersta detektorns värden kan även ske i efterhand i dataprogrammet File Viewer 2200 och procedur "3.5 - Excluding Rings from Analysis - FV2200 page 8-38" (Chason, 1991; LI-COR, 2016).



Figur 15. Exempel på LAI-2000 sensorers synfält genom deras olika vilklar (Chason, 1991).

Figure 15. Examples of the LAI-2000 sensors' field of view through their different angles (Chason, 1991).

Instrumentet mäter inte bara blad, utan även stammar och grenar vilket gör att LAI egentligen inte är rätt term att använda. En mer passande term är krontaksyte index. Detta sker eftersom att allt ljus inte stoppas av bladyta utan endel ljus bryts av och reflekteras av grenar vilket kan göra att LAI överskattas av instrumentet eftersom att allt ljus inte hamnar med i mätningarna som görs under krontaket i skogen (LI-COR, 2016).

Bilaga 2

En sannolikhet tas fram för hur att se hur stor chansen är att ljus som passerar genom trädkronorna hindras av löv. Detta räknas ut genom följande formel:

$$P(\theta) = e^{-G(\theta)\mu S(\theta)}$$

Där μ är lövens densitet (m^2 löv per m^3 av trädkronans volym), $G(\theta)$ är fraktionen av lövens riktning mot θ och $S(\theta)$ är längden i meter genom trädkronan på vinkel θ . μ löses enligt Miller (1967) genom:

$$\mu = 2 \int_0^{\pi/2} -\frac{\ln(P(\theta))}{S(\theta)} \sin(\theta) d\theta$$

I en homogena skog med breda trädkronor är $S(\theta)$ relaterad till trädkronors höjd h genom följande beräkning:

$$S(\theta) = \frac{h}{\cos \theta}$$

Och sambandet mellan LAI och μ beräknas enligt:

$$L = \mu h$$

$$\mu = \frac{2}{h} \int_0^{\pi/2} -\ln P(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta$$

$$L = \mu h = 2 \int_0^{\pi/2} -\ln P(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta$$

Flera observationer av $P(\theta)$ kan kombineras; genom medelvärdet av $P(\theta)$ enligt:

$$\mu = 2 \int_0^{\pi/2} -\frac{\overline{\ln P(\theta)}}{s(\theta)} \sin \theta d\theta$$

eller genom medelvärdet av $\ln P(\theta)$:

$$\mu = 2 \int_0^{\pi/2} -\frac{\overline{\ln P(\theta)}}{s(\theta)} \sin \theta d\theta$$

där den förstnämnda funktionen bestämmer effektivt LAI L_e medans den sistnämnda funktionen tar hänsyn till ihopklumpade löv. Båda funktionerna används för att ta fram L och en klumpfaktor Ω_{app} enligt Ryu et al.(2010):

$$\Omega_{app} = \frac{2 \int_0^{\pi/2} -\frac{\overline{\ln P(\theta)}}{s(\theta)} \sin \theta d\theta}{2 \int_0^{\pi/2} -\frac{\overline{\ln P(\theta)}}{s(\theta)} \sin \theta d\theta}$$

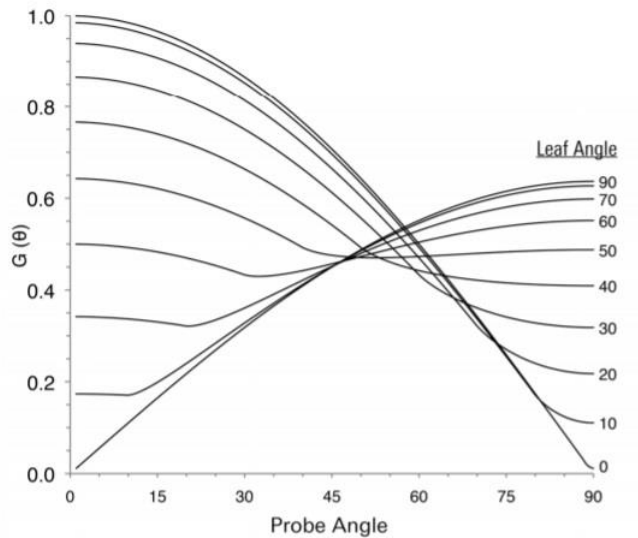
L_e tas fram genom:

$$L_e = L \Omega_{app}$$

Vilket gör att $G(\theta)$ kan lösas genom:

$$G(\theta) = \frac{-\ln P(\theta)}{\mu S(\theta)}$$

Teoretiska värden av $G(\theta)$ för en perfekt trädskrona där löven är slumpmässigt placerade men lutar åt en fast vinkel visas i figur 16.



Figur 16. Förhållandet mellan en projekterad trädskronearea och riktning på lövens vinklar. Enligt Warren Wilson(1959).

Figure 16. The relationship between a projected tree crown area and the direction of the leaf angles. According to Warren Wilson (1959).

Den genomsnittliga sannolikheten att ljus passerar genom trädens kronor tas fram enligt:

$$\overline{P(\theta_i)} = \frac{1}{N_{obs}} \sum_{j=1}^{N_{obs}} \frac{B_{ij}}{A_{ij}}$$

Sannolikheten att ljus passerar baserat på genomsnittet av logarimerna av transmittans för ring i^{th} beräknas enligt:

$$G_i = e^{\overline{\ln P(\theta_i)}} = e^{\left(\frac{1}{N_{obs}} \sum_{j=1}^{N_{obs}} \ln \frac{B_{ij}}{A_{ij}}\right)}$$

LAI L beräknas genom formeln:

$$L = 2 \int_0^{\pi/2} -\frac{\ln P(\theta)}{S(\theta)} \sin \theta d\theta = 2 \sum_{i=1}^5 K_i W_i$$

Där K_i är medel kontaktnumret för i i detektoren

$$K_i = \frac{1}{N_{obs}} \sum_{j=1}^{N_{obs}} \frac{-\ln \left(\frac{B_{ij}}{A_{ij}}\right)}{S^i}$$

Och W_i är den vägande faktorn för i detektoren

$$W_i = \sin \theta_i d\theta_i$$

N_{obs} är antalet ihopparade A och B mätningar, S^i är längden genom trädens kronor, $d\theta_i$ är medel zenit vinkeln och $\sin\theta_i$ är detektorens bredd för i detektorn (värden för detta kan hämtas från tabell ”Table 7-1” i LI-COR (2016)).

En klumpfaktor tas fram för varje sensor ring genom:

$$\Omega_i = \frac{\ln \overline{P(\theta_i)}}{\ln P(\theta_i)} = \frac{\ln(\frac{1}{N_{obs}} \sum_{j=1}^{N_{obs}} (\frac{B_{ij}}{A_{ij}}))}{\frac{1}{N_{obs}} (\sum_{j=1}^{N_{obs}} \ln(\frac{B_{ij}}{A_{ij}}))}$$

En total uppenbar klumpfaktor Ω_{app} tas fram genom:

$$\Omega_{app} = \frac{2 \int_0^{\pi/2} -\frac{\ln P(\theta)}{S(\theta)} \sin \theta d\theta}{2 \int_0^{\pi/2} -\frac{\ln P(\theta)}{S(\theta)} \sin \theta d\theta} = \frac{2 \sum_{i=1}^5 -\frac{\ln P(\theta_i)}{S_i} W_i}{2 \sum_{i=1}^5 \overline{K_i} W_i}$$

Standard error L_{se} av bladindex värdet beräknas:

$$L_{se} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N_{obs}} \sum_{j=1}^{N_{obs}} L_j^2 - L^2}{N_{obs}}}$$

Där L_j är bladindex uträknat för ett A/B par:

$$L_j = 2 \sum_{i=1}^5 K_{ij} W_i$$

Där K_{ij} är kontaktvärdet för paret och beräknas:

$$K_{ij} = \frac{-\ln(\frac{B_{ij}}{A_{ij}})}{S_i}$$

Standardavvikelsen av kontaktnumret $K_{\sigma i}$ beräknas:

$$K_{\sigma i} = \sqrt{\frac{1}{N_{obs} - 1} \sum_{j=1}^{N_{obs}} (K_{ij} - \overline{K_i})^2}$$

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2017:6 Författare: Erik Sköld
Lönsamhet vid fröträdsavverkningar på torvmark i östra Småland
- 2017:7 Författare: Anna Bergqvist
Skogsbrukets brandskötsel. En intervju-undersökning utförd i Västerbotten år 2006
- 2018:1 Författare: Gustav Nord
Tillväxteffekter för tall 33 år efter konventionell gallring och gödsling
- 2018:2 Författare: Felicia Dahlgren Lidman
The Nitrogen fixation by cyanobacteria associated to feathermosses
- A comparison between Scots pine and Norway spruce stands
- 2018:3 Författare: Hanna Glöd
Forest drainage effects on tree growth in Northern Sweden. – Developing guidelines for ditch network maintenance
- 2018:4 Författare: Anna Jonsson
How are riparian buffer zones around Swedish headwaters implemented? – A case study
- 2018:5 Författare: Martin Hederskog
Är uteblivna bränder i skogslandskapet en bidragande orsak till igenväxning av myrmarker?
- 2018:6 Författare: Gustav Stål
Carbon budgets in northern Swedish forests, 1800-2013
- 2018:7 Författare: Johan Gotthardsson
Faktorer som påverkar antalet ungskogsröjningar i tallbestånd
- 2018:8 Författare: Rasmus Behrenfeldt
Vindens inverkan på höjdtillväxten i ett tallbestånd (*Pinus sylvestris*) längs en sluttning
- 2018:9 Författare: Erik Sundström
Brandhårdhetens påverkan på knäckesjukans omfattning på brandfältet i Sala
- 2018:10 Författare: Jenny Dahl
How is soil carbon stock in old-growth boreal forests affected by management?
- 2018:11 Författare: Johannes Larson
Know the flow – spatial and temporal variation of DOC exports and the importance of monitoring site specific discharge
- 2018:12 Författare: Sanna Nilsson
Hur tidpunkten för och samordningen av föryngringsåtgärder påverkar föryngringsresultatet och konkurrenstrycket i plantskogen
- 2019:1 Författare: Lina Arnesson Ceder
Skogshistoria kommer upp till ytan – en akvatisk inventering efter samiskt påverkad död ved i tjärnar kring Mattaur-älven
- 2019:2 Författare: Linda Norén
“Det var ett äventyr” – en studie om livet som flottare efter Piteälven